

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**Є. Ю. САХНО, О. І. ТЕРЕЩУК,  
В. М. ЧУПРИНА, С. В. КОВАЛЕНКО**

## **ОСНОВИ СИСТЕМОТЕХНІКИ**

навчальний посібник для здобувачів вищої освіти  
технічних спеціальностей вищих навчальних закладів

ЧЕРНІГІВ 2022

УДК 004.03  
С22

Затверджено на Вченій Раді Національного університету  
«Чернігівська політехніка» (протокол № 05 від 30.06.2022)

Рецензенти:

**Шульц Р. В.**, доктор технічних наук, професор Чеського  
технічного університету;

**Войтенко С. П.**, доктор технічних наук, професор  
Київського національного університету будівництва та  
архітектури;

**Іванишин В. А.**, доктор геологічних наук, професор  
Національного університету «Чернігівська політехніка».

**Сахно Є. Ю.**

С22 Основи системотехніки: навчальний посібник /  
Є. Ю. Сахно, О. І. Терещук, В. М. Чуприна,  
С. В. Коваленко. – Чернігів : НУ «Чернігівська полі-  
техніка», 2022. – 280 с.

ISBN 978-617-7932-35-1

У навчальному посібнику наводяться основні принципи проєктування технічних систем, використання сучасної системної методології та перспективних математичних методів при розв'язанні системних задач. Наведено основи системного підходу при підготовці та реалізації технічних завдань та інтеграції інформаційних систем підприємства та проєктів розвитку. В книзі також приводиться підходи щодо використання системного аналізу при прийнятті науково обґрунтованих рішень при управлінні процесом створення складних систем.

Навчальний посібник призначено для студентів технічних спеціальностей, науковців та аспірантів за відповідним напрямком наукових досліджень.

Іл.: 67. Табл.: 11. Бібліограф.: 37 назв.

**УДК 004.03**

ISBN 978-617-7932-35-1

© Є. Ю. Сахно, О. І. Терещук,  
В. М. Чуприна, С. В. Коваленко, 2022  
© НУ «Чернігівська політехніка», 2022

## ЗМІСТ

|   |     |
|---|-----|
| <b>ЗМІСТ</b> .....  | 3   |
| <b>ВСТУП</b> .....  | 5   |
| <b>РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....           | 11  |
| 1.1. Задачі системотехніки .....  | 11  |
| 1.2. Історія розвитку системних уявлень .....   | 20  |
| 1.2.1. Передумови розвитку системних уявлень .....                                    | 21  |
| 1.2.2. Передумови розвитку системних уявлень в астрономії .....                       | 28  |
| 1.2.3. Передумови розвитку системних уявлень у фізиці та хімії .....                  | 33  |
| 1.2.3. Передумови розвитку системних уявлень у медицині та біологічних науках .....   | 34  |
| 1.2.5. Передумови розвитку системних уявлень у техніці .....                          | 37  |
| 1.3. Розвиток системних уявлень на сучасному етапі .....                              | 47  |
| Контрольні питання.....   | 61  |
| <b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....  | 62  |
| 2.1. Визначення систем та їх елементів .....  | 62  |
| 2.2. Основні моделі системотехніки .....  | 71  |
| 2.3. Закономірності розвитку і еволюції технічних систем .....                        | 86  |
| 2.4. Критерії ефективності та властивості технічних систем .....                      | 97  |
| Контрольні питання.....   | 104 |
| <b>РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ, СТВОРЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....        | 105 |
| 3.1. Методологія створення технічних систем.....                                      | 105 |
| 3.2. Основні поняття про процес проєктування.....                                     | 107 |
| 3.3. Стадії та етапи проєктування технічних систем .....                              | 109 |
| 3.4. Підготовка виробництва до створення та виготовлення нових технічних систем ..... | 114 |
| 3.5. Автоматизація проєктування і виготовлення технічних систем.....                  | 119 |
| 3.6. Проведення аналізу технічних систем .....  | 121 |
| 3.7. Побудова технологічних систем .....  | 126 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.8. Побудова інформаційно-вимірювальної систем .....               | 129 |
| 3.9. Побудова технічних системи методом морфологічного аналізу..... | 133 |
| 3.10. Вибір структури та форми технічної системи .....              | 136 |
| Контрольні питання .....  | 140 |

## **РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ РОЗВИТКУ**

|  |     |
|--|-----|
| <b>ВИРОБНИЦТВА</b> .....   | 141 |
| 4.1. Застосування системного підходу в управлінні технічними проєктами .....                       | 141 |
| 4.2. Огляд задач та методів формалізації проєктних систем.....                                     | 156 |
| 4.3. Методичні засади управління технічними проєктами на основі принципів системного аналізу ..... | 164 |
| 4.4. Інформаційна система управління технічним проєктом .....                                      | 174 |
| 4.5. Процеси інтеграції інформаційних систем підприємств та проєктів.....                          | 180 |
| 4.6. Інтеграція інформаційних систем при їх динамічному розвитку у просторі та часі .....          | 190 |
| 4.7. Нейромережеве управління інтеграцією інформаційних систем.....                                | 199 |
| Контрольні питання .....   | 205 |

## **РОЗДІЛ 5. ПРЕДМЕТ ТА ЗАДАЧІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1. Загальні положення про системний аналіз .....   | 206 |
| 5.2. Мета системного аналізу і його основні завдання .....                                     | 216 |
| 5.3. Предмет теорії систем та системного аналізу.....  | 227 |
| 5.4. Принципи системного підходу при вирішенні інженерних задач.....                           | 236 |
| 5.5. Використання креативного підходу як інструменту в науці і системі інженерної освіти ..... | 251 |
| Контрольні питання .....   | 261 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>Список літератури</b> ..... | 263 |
|--------------------------------|-----|

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>Тестові завдання</b> ..... | 267 |
|-------------------------------|-----|

## ВСТУП

Створення ефективних систем управління технічними об'єктами одна з першорядних проблем сьогодення. Питання, що пов'язані зі збиранням, зберіганням, пошуком, обробкою, перетворенням, розповсюдженням і використанням інформації, мають вирішальне значення для ефективної її діяльності. Тому наука системотехніка, інформаційні системи управління виробництвом розвиваються дуже стрімко і потребують фахівців відповідної кваліфікації.

Ускладнення сучасних технічних систем (ТС) вимагає використання ефективних технологій їх проектування, які прискорюють створення, впровадження і розвиток технічних проектів, підвищують їх надійність, сприяють їх адаптації до змін в навколишньому середовищі. Також курс «Основи системотехніки» дає можливість отримати практичні основи проектування ТС з точки зору технологічних моделей, що використовуються в інженерних проектах. Наведені підходи дозволяють визначити основні показники технології проектування, процеси їх формалізації та методи і засоби системного аналізу. Особлива увага приділяється основам та підходам щодо проектування технічних систем, а також особливості різних моделей їх описання.

Системне мислення означає здатність побачити проблему не відокремлено, а в контексті усіх взаємозв'язків. Однак системність має різні рівні. Сигналом про недостатність системності існуючої діяльності є поява виявлених проблем; вирішення цих проблем відбувається шляхом переходу на новий, більш високий рівень системності в практичній діяльності.

Ознаки високого рівня системності мислення є:

- знання категорій та понять;
- вміння аналізувати та синтезувати явища;
- вміння знайти проблему, поставити задачу;
- вміння прийняти правильне рішення.

Теорія систем тісно пов'язана з кібернетикою, інформаційними технологіями, наукою про управління в складних системах. Також система має властивість керованості, тобто система підпорядковується управлінським законам.

**Предметом** навчальної дисципліни є вивчення систем навколишнього середовища на основі системного підходу; визначення внутрішніх і зовнішніх найбільш загальних характеристик системи, розробка методів аналізу систем та методів вирішення проблем, що виникають у цих системах підчас проектування.

**Міждисциплінарні зв'язки.** Для вивчення даної дисципліни студентам необхідно знати такі курси:

- вища математика;
- фізика;
- основи проектування та інженерна графіка;
- інформатика і програмування.

Сама дисципліна у повному обсязі на рівнях засвоєння знань і сформованості умінь потрібна для ЗВО спеціальності «Геодезія та землеустрій» для вивчення інженерних вишукувань та проектування, глобальних супутникових систем позиціонування, аерокосмічних знімань та дистанційного зонування, вищої геодезії, фотограмметрії, картографії, основ землевпорядкування та кадастру.

**Мета та завдання навчальної дисципліни.** Метою викладання навчальної дисципліни «Основи системотехніки» є вивчення основ проектування технічних систем, навчання раціональному використанню сучасної системної методології, перспективних математичних методів та програмних засобів розв'язання системних задач.

**Основним завданнями є:**

1. Побудова системних моделей технічних об'єктів;
2. Знання поняття, закономірностей та методів системного аналізу;

3. Системний аналіз інформаційного, алгоритмічного забезпечення при проектуванні процесів актуалізації даних та інформаційної підтримки;

4. Визначення невизначеностей у задачах системного аналізу при управлінні складними об'єктами;

5. Проектування, створення і використання технічних систем.

В результаті вивчення курсу ЗВО повинні:

**Знати:** ієрархію опису технічних систем та закономірності їх розвитку; категорії особливостей технічних систем; класифікацію технічних систем по рівнях складності, способи виготовлення і тип виробництва; стадії, етапи та принципи системотехніки.

**Вміти:** аналізувати та вибирати методи розв'язання системних задач при проектуванні технічних та інформаційних систем за критеріями мінімізації, використовувати чисельні методи і алгоритми рішення задач аналізу, проводити автоматизацію проектування, виготовлення та експлуатація технічних систем та об'єктів.

**Структура теорії технічних систем** повинна включати такі основні положення: система понять; система перетворень; технічний процес та технічна система як елемент системи перетворень; призначення технічних систем; структура технічних систем; властивості та оцінювання технічних систем; виникнення і розвиток технічних систем; еволюція технічних систем; систематика - класи, типи та види технічних систем.

Залежно від галузі застосування розрізняють:

- загальну теорію технічних систем, яка справедлива для всіх систем;

- спеціальні теорії, які конкретизують загальну теорію для окремих класів, типів та видів технічних систем.

**Системотехніки** - це спеціалісти, які працюють зі складними системами. Інженер-системотехнік повинен об'єднувати фахівців різних профілів для спільного рі-

шення складних задач, знаходити місця в проєкті для кожного фахівця та ставити йому задачі, направляти роботу в єдине русло цілеспрямованої активності. Він складає план рішення, а потім слідкує за його виконанням на послідовних етапах розробки проєкту, виготовлення і експлуатації. На відміну від фахівців, поглинених деталями, системотехнік займається загальною постановкою задачі і загальною оцінкою результатів. І у цьому контексті він є творчим робітником нового типу, свого роду - інженером інженерів. Інженери-системотехніки повинні здійснювати дослідницьку, методичну і методологічну діяльність.

Дослідження існуючої системи є відправним пунктом розробки будь-якої нової складної системи. Комплексне дослідження включає:

- планування, координацію і проведення досліджень об'єкта і системи управління в цілому;
- організацію додаткових досліджень на рівні підсистем;
- класифікацію об'єктів і систем управління для прив'язки типових проєктних рішень;
- оцінку ефективності функціонуючої автоматизованої системи.

**Методична діяльність полягає:**

- у розробці технічного завдання на систему в цілому і на окремі підсистеми;
- у формуванні складу методик проєктування і інших документів, що регламентують проєктувальну діяльність;
- в опису типового складу проєктів підсистем;
- у визначенні етапності проєктування, впровадження та функціонування системи;
- у випуску документів, регламентуючих її впровадження;
- у конкретизації стосовно до даної системи загальних стандартів і методик, розробці відсутніх інструкцій і розпоряджень.



Реалізація методологічних рекомендацій і методичних вказівок, впровадження їх в практику проектування здійснюються за допомогою науково-тематичної координації усіх робіт по створенню системи. Вона, виконується системотехнічною групою і спрямована на вирішення наступних задач:

- організації стикування науково-технічним керівництвом проєктів окремих підсистем (зазвичай, їх головними конструкторами);
- видачі вихідних даних проєктувальниками підсистем;
- ув'язування окремих проєктів та їх інтеграцію в єдиний проєкт;
- забезпечення реалізації принципів системного підходу у процесі проєктування;
- розробці координаційного плану організації впровадження;
- поточного контролю за витратами розробки системи та його оцінці.

Тобто, саме системотехнічна група покликана реально керувати розробкою визначеної складної системи.

Для підготовки фахівців по системному аналізу, у багатьох ВНЗ існують кафедри системного аналізу (системотехніки). Ось приблизний перелік дисциплін, включених в інститутські програми по системному аналізу в США: загальна теорія систем; лінійна алгебра і матриці; топологія; інтегральні перетворення; векторне числення; математична логіка; теорія графів; теорія надійності; теорія ймовірностей; лінійне, нелінійне і динамічне програмування; теорія інформації; методи моделювання і оптимізації; методологія проєктування систем; застосування інженерних моделей; проєктування; інформаційні технології; біологічні і економічні системи; прогнозування; екологічні системи; дослідження операцій і т. ін. Навіть з цього неповного списку видно, наскільки широкою є підготовка інженера-

системотехніка. Для того щоб опанувати усіма цими знаннями, йому необхідно глибоке знайомство з методологічними основами науки, з філософією і історією наукової і інженерної діяльності. Однак головне, чим він повинний володіти – уміння застосовувати всі отримані знання для рішення двох основних системотехнічних задач: управління процесом створення складних систем і забезпечення інтеграції частин цієї системи в єдине ціле.

# РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

## 1.1. Задачі системотехніки

У процесі розвитку цивілізації змінюється уява людей про машини. Спочатку вони розглядалися як ціле, з належними тільки для них особливими частинами. Для визначення деяких машин не було навіть спеціальних понять. Тільки після заснування технічних шкіл (Париж, 1794 р.; Прага, 1806 р.) починається процес систематизації машин і вилучення з них окремих механізмів, призначених для перетворення руху [1, 2].

В свій час Леонардо да Вінчі (1452-1519 рр.) на століття визначив хід розвитку науки і розглядав елементи і частини машин як загальні одиниці різних агрегатів, застосовуваних у військовій, гірничій та морській справі, а також в металообробці, друкарстві, ткацтві та виконанні вантажних робіт. Створення нових технічних засобів поряд з підвищенням вимог до них, з одного боку, і новими методами вирішення задач (наприклад, засобами обчислюваної техніки) з другого боку, викликає необхідність перегляду методів вивчення технічних систем. Після другої світової війни виник один з нових напрямків в галузі теорії технічних систем у вигляді окремих аспектів загальної теорії, а пізніше в більш інтегрованій формі – системотехніки. З цього моменту теорія технічних систем знайшла визнання як основа і джерело інформації для декількох суміжних галузей знань. Так, наприклад, теорія конструювання частково опирається на теорію технічних систем.

*Системотехніка* – науково-технічна дисципліна, що охоплює питання проектування, створення, випробування і експлуатації складних систем [9, 15, 21,

29, 30]. При розробці таких систем виникають проблеми, що відносяться не тільки до властивостей їх складових частин (елементів, підсистем), але також і в цілому (загальносистемні проблеми). При вирішенні проблем системотехніки широко використовуються методи дослідження складних систем із залученням математичної логіки і статистики, теорії алгоритмів, комбінаторики, теорії ігор, теорії ситуацій, теорії масового обслуговування, теорії інформації тощо.

*Складна система* – це складний об'єкт, частини якого можна розглядати як системи, закономірно об'єднані в єдине ціле відповідно до певних принципів, або зв'язані між собою заданими відносинами.

Поняття «Складна система» широко використовується у системотехніці, системному аналізі, при дослідженні операцій і системному підході в різних галузях науки, техніки і народного господарства. Складну систему можливо розчленувати на кінцеве число частин, так званих підсистем вищого рівня. Кожну таку підсистему можливо у свою чергу розчленувати на кінцеве число дрібніших підсистем і т. д., аж до отримання підсистем першого рівня, так званої складової системи, які, або об'єктивно не підлягають розділенню на частини, або щодо їх подальшої неподільності. Таким чином, підсистема, з одного боку, є складною системою (для підсистем нижчого рівня), що складається з декількох елементів, з іншого боку вона – елемент системи старшого рівня.

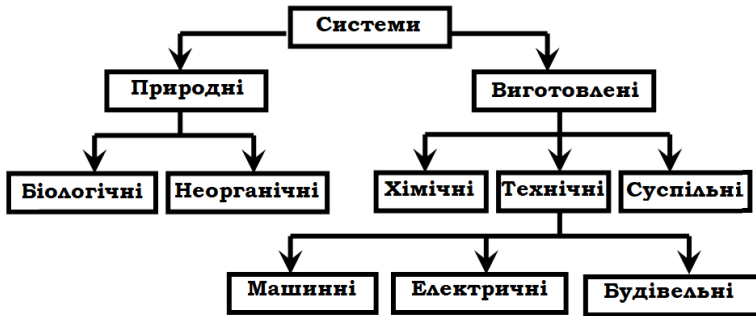
### **Технічні та машинні системи**

Можливі два підходи до розв'язання проблеми визначення технічного засобу – «абстрактної машини» [10, 19]:

– *перший підхід* полягає в переліку всіх елементів, які входять до складу машини (наприклад: привод, передаючий механізм, колінчастий вал, втулки, болти тощо);

– *другий підхід* полягає в пошуку нового узагальненого виразу або терміну. В останньому випадку основна увага при описі технічного засобу приділяється його системним властивостям.

Виходячи з поняття системи, їх можна розділити на класи за принципом походження (рис. 1). При цьому окремі елементи цієї структури визначаються на підставі загальноприйнятої класифікації галузей знання: класи технічних систем відповідають відомим галузям техніки – машинобудування, електротехніка, будівництво тощо.



**Рис. 1.1. Розподіл систем за їх походженням**

Але такий підхід не дає точного визначення «технічний засіб», тому що згідно (рис. 1.1) його можна трактувати і як об'єкт машинобудування, і як електротехніки тощо, більше того в останній час існують гібридні системи (наприклад, біотехнічні, до яких належать людино-машинні складні системи). У зв'язку з цим для визначення «абстрактної машини» доцільно використовувати термін «технічна система», яка в загальному вигляді є сукупністю елементів і відношень (зв'язків), які утворюють цілісну структуру об'єкту. При вивченні технічних систем розрізняють три класи сукупностей об'єктів:

1) *неорганізовані* (наприклад, заготовки, які лежать навалом);

2) *організовані* з елементами, об'єднаними в стійку структуру, яка має нові властивості (наприклад, верстати з ЧПК);

3) *самоприспосовувані* зі зміною зв'язків або структури під дією зовнішнього середовища (наприклад, адаптивні системи керування).

В теперішній час суспільство потребує створення нових технічних систем, застосування яких дозволить вирішувати не тільки техніко-економічні, але й соціальні проблеми, що потребує ще більше якісних винаходів, ніж раніше.

Науково-технічна революція призвела до різкого зростання кількості і складності технічної системи (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Динаміка зростання кількості і складності  
технічних систем**

| Термін             | Приблизна кількість класів | Середня кількість різних елементів у найбільш складних технічних системах |
|--------------------|----------------------------|---|
| 100 000 років тому | 5                          | 1   |
| 10 000 років тому  | 50                         | 10  |
| 1 000 років тому   | 1000                       | 100   |
| Теперішній час     | Більше 50 000              | Більше 10 000   |

### **Основні поняття систем**

*Множина* – це сукупність спостережуваних або мислених об'єктів – *елементів множини*. За кількістю елементів розрізняють скінчені та нескінчені множини. Якщо,  $X$  – елемент множини  $M$ , то записують  $X \in (M)$ . Дві множини  $M$  і  $N$  еквівалентні, якщо кожному елементу множини  $M$  точно відповідає елемент множини  $N$  і навпаки. Якщо усі елементи множини  $N$  є в  $M$ , то  $N$  – підмножина  $M$ , тобто  $N \in (M)$ .

Сукупність усіх неналежних  $N$  елементів  $M$  називають *доповненням множини  $N$* . Об'єднання  $M$  і  $N$  – це множина, усі елементи якої належать або  $M$ , або  $N$ . *Перетинання  $M$  і  $N$*  включає усі елементи, які належать як  $M$ , так і  $N$ .

*Система* – це сукупність, яка створена з скінченної множини елементів. При цьому між елементами системи існують певні зв'язки. Можливі також системи, які мають ізольовані елементи (або групи елементів), котрі не мають зв'язків з іншими елементами системи.

Елемент і система є відносними поняттями з точки зору системного підходу, основним принципом якого є концепція цілісного, неможливість зводити складне до простого, цілого до частини, наявність у цільному об'єкті таких властивостей і якостей, котрі не можуть бути присутні в його частинах. Системний підхід вимагає розглядати систему як частину надсистеми, з елементами якої вона пов'язана, а окремі елементи системи можна, в свою чергу, розглядати як підсистеми [10,19].

*Наприклад*, для верстата-автомата, як технічної системи (рис. 2), автоматична лінія є *надсистемою I порядку*, автоматичний цех – *над система II порядку*, а завод-автомат – *над система III порядку*. *Підсистемами I порядку* для верстата-автомата будуть механізми головного руху, подачі, автоматичної зміни інструменту, тощо. *Підсистемами II порядку*, наприклад, для механізму головного руху є шпіндельний вузол, коробка швидкостей, електродвигун, а для шпіндельного вузла *підсистемою III порядку* будуть шпіндель, опори, кришки, болти тощо.

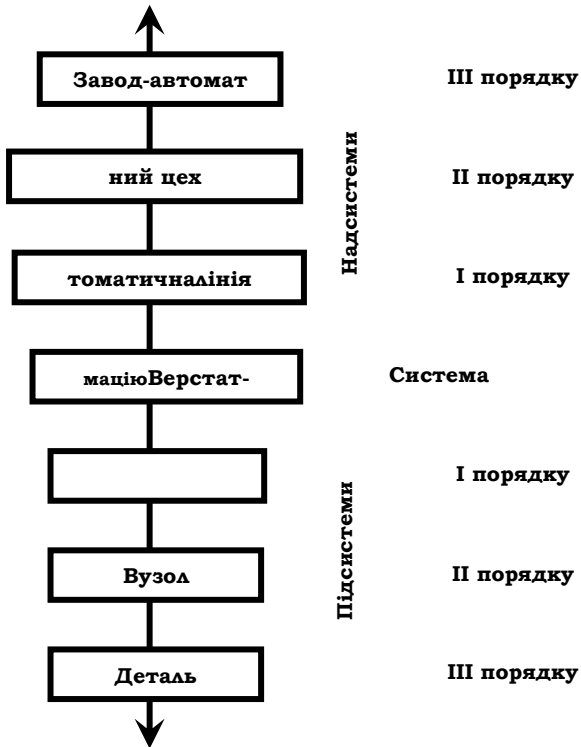
Узагальнена модель системи наведена на рис. 1.3, а її поняття знаходяться в одному ряду з такими поняттями, як призначення, поведінка (функціонування), структура, навколишнє середовище, вхід, вихід, властивість, стан.

## Основні визначення системотехніки

Будь-яка виготовлена система має певне призначення, яке може бути описано системою цілей.

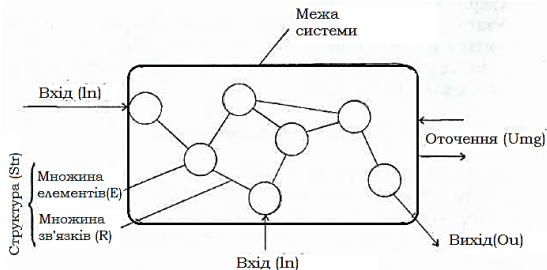
*Ціль (мета)* – це якийсь (можливо, уявний) стан справ, до здійснення якого прямують. *Система цілей* – це множина цілей і співвідношення між ними. Часто підціль є засобом досягнення мети.

Поведінка може бути визначена як множина послідовних у часі станів системи. Цілеспрямована поведінка системи називається *функцією (або телеологічною функцією)*. Поведінку технічної системи будемо називати *функціонуванням*.



**Рис. 1.2. Ієрархія технічних систем на прикладі металообробних верстатів**





**Рис. 1.3. Узагальнена модель системи**

*Структура системи характеризує внутрішню організацію, порядок і побудову системи, тобто структура – це сукупність елементів і співвідношення (зв'язків) між ними. Якщо  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  є множина елементів, а  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  множина співвідношень (зв'язків), то структура  $Str = \{E, R\}$  є множина, яка складається з  $E$  і  $R$ . Один і той же об'єкт може бути визначений кількома системами.*

*Наприклад, для верстата-автомата можна визначити систему головного руху, систему подачі, систему автоматичного керування, систему автоматичного завантаження заготовок тощо.*

*Функціонування системи задається її структурою, яка повністю визначає спосіб функціонування. Відносно замкнута система з конкретною структурою функціонує однозначно. З іншого боку, функціонування не визначає структуру однозначно, тому що одна і та ж функція може бути реалізована різними структурами.*

*Оточення (навколишнє середовище ( $Umg$ )) системи теоретично включає все, що не входить в дану систему, але можна обмежитися тільки реальним довкіллям, а не повним, до якого входять: геосфера, атмосфера, біосфера (з людьми), техносфера, астросфера.*

*Вхід ( $In$ ) – це зовнішнє відношення навколишнього середовища до системи. Сукупність усіх входів складає узагальнений вхід, як вектор окремих дій, зв'язків (відносин) та (або) параметрів стану.*

*Вихід (Out)* – це зовнішнє відношення системи до навколишнього середовища. Сукупність усіх виходів може бути зведена до узагальненого виходу (вектору виходу).

Входи і виходи системи включають усі види зв'язків з навколишнім середовищем: бажані і небажані (завади), зв'язки матеріального ( $S$ ), енергетичного ( $En$ ) та інформаційного ( $I$ ) характеру.

Вся система, її елементи і відносини мають властивості, які належать цій системі і відносно точно її визначають (розміри, маса, швидкість, форма, стабільність, технологічність, транспортабельність, а особливо здатність щось робити, тобто функціонувати).

*Властивістю* є будь-яка суттєва ознака об'єкту. Для сукупної характеристики об'єкту, наприклад, при його оцінюванні, вибирають найбільш суттєві властивості. В цьому випадку мова йде про часткову, узагальнену та сукупну оцінку, узагальнені властивості або цінності.

Сукупність значень властивостей системи в значеній момент часу називається *станом* системи, який за аналогією з якістю можна визначити вектором, що містить як компоненти окремі властивості.

Два стани системи можуть бути однаковими або різними. Різниця між станами називається *різницею*, яка виникає при переході системи від одного стану до іншого. Різниця може бути диференційованою (коли має місце безперервний перехід до наступного стану) або дискретною.

### **Типи систем і завдань**

Відповідно до розвитку критеріїв можна встановити велику кількість систем, що їх класифікують:

а) за місцем системи в ієрархії: *надсистема, система, підсистема*;

б) за зв'язками з оточенням: *відкрита* (з певним довкіллям, тобто принаймні з одним входом або виходом), *закриті* або *замкнуті* (без зв'язку з довкіллям);

в) за зміною стану: *динамічні* (стан змінюється в часі), *статичні* (стан не змінюється в часі);

г) за характером функціонування: *детерміновані* (в залежності від стану системи можна однозначно судити про її функціонування), *стохастичні* (можна тільки висловити припущення відносно різних можливих варіантів функціонування);

д) за типом елементів (в розумінні їх конкретності): *конкретні* (елементами є реальні об'єкти), *абстрактні* (елементами є нереальні об'єкти);

е) за походженням системи: *природні* (створені природою), *виготовлені* (створені людьми);

є) за характером залежності виходів: *комбінаторні* (вихід залежить тільки від входу), *секвентивні* (вихід залежить тільки від входу та інших величин);

ж) за рівнем складності структури: *надзвичайно складні* (мозок, народне господарство), *дуже складні* (завод-автомат або цех-автомат), *складні* (верстат-автомат), *прості* (болтове з'єднання);

з) за видом елементів: *системи типу «об'єкт»* (елементами є: двигун, машина, патрон), *системи типу «процес»* (елементами є операції: виготовлення, фільтрація, перегонка, різання та ін.).

В зв'язку з необхідністю проектування систем розглядають три характерні типи задач: *аналіз*, *синтез*, *вимірювання (іспит)*.

*Задача аналізу* – задана структура (відомі вхід  $Z$  і  $X$ ), необхідно визначити функціонування системи (вектор множини вихідних параметрів  $Y$ ).

*Задача синтезу* – задані характер функціонування (відомий вектор вихідних параметрів  $Y$ ) та інші вимоги до системи (включаючи відомий вектор вхідних параметрів  $Z$ ), необхідно визначити структуру, котра задовольняє поставленим вимогам.

## 1.2. Історія розвитку системних уявлень

Виступаючи в ролі загально методологічної науки пізнання світу, системний аналіз у сучасному його розумінні, своїм корінням простягається у давнину. З точки зору сучасних уявлень, системність завжди, усвідомлено чи ні, була одним з методів науки. При цьому процес формування системних уявлень в процесі еволюції людства, здійснювався дуже повільно і пройшов декілька важливих етапів [2, 23].

*Перший етап* (2000 р. до н.е. – початок ХХ ст.). Ще у Стародавньому Єгипті системна методологія проявила себе у необхідності чіткої організації земельних відносин, що знайшло своє відображення у системі поділу земельних ділянок і появи геометричних викладок вирішення цього питання. Це етап виникнення і розвитку системних ідей, які формувалися у процесі практичної і пізнавальної діяльності людства. Саме на цьому етапі виникали та відшліфовувались окремі ідеї, гіпотези, поняття, теорії. Досить часто вони являли собою випадкові інтуїтивні відкриття окремих видатних вчених, філософів і мислителів.

*Другий етап* (початок ХХ ст. – середина 50-х років ХХ ст.). На цьому етапі формується теоретичний фундамент системного аналізу, з'являються перші системні теорії, здійснюється поширення системності в усі галузі знань, насичення їх системними ідеями.

*Третій етап* (середина 50-х років ХХ ст. – теперішній час). На цьому етапі здійснюється процес перетворення системних уявлень в метод наукових досліджень – метод аналітичної діяльності. Він співпадає з початком науково-технічної революції (НТР), яка максимально використовувала системний метод для наукових відкриттів, здійснення технологічних розробок. Системний аналіз наприкінці ХХ ст. стає загальним світоглядом, який використовують спеціалісти у різних галузях.

Становлення системних уявлень здійснювалось завдячуючи декільком факторам:

- *по-перше*, проникненню людини в процесі пізнання навколишнього світу у внутрішній устрій об'єктів і явищ де кожного разу виявлялися різноманітні взаємозв'язки і різні атрибути системного аналізу;

- *по-друге*, внаслідок інтелектуальної діяльності, коли постійно здійснювалось членування цілого на частини (аналіз) і навпаки, коли відбувалось поєднання складових у ціле (синтез);

- *по-третє*, в процесі практичної діяльності по створенню цілого з декількох частин, а також поділ цілого на частини. При цьому, поділяючи, дроблячи, ламаючи, людина кожного разу сприймала втрату цілого.

Таким чином, *джерелами системних уявлень* виступали:

- *практична діяльність людей*, яка постійно виявляла цілісність структури, цілісність об'єктів та явищ, взаємозв'язки між ними. Ціле і частини завжди були присутніми у господарській діяльності, торгівлі, будівництві, воєнній справі тощо;

- *філософія*, яка осмислювала, шліфувала основні поняття системності, відривала їх від реальної дійсності і переводила їх в категорії абстрактних;

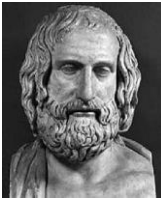
- *природні знання і науки*, котрі формували системність бачення природи;

- *соціальні науки, науки про людину*, котрі ініціювали розробку системного підходу до вивчення суспільства.

### **1.2.1. Передумови розвитку системних уявлень**

Системність всесвіту та процесів його пізнання, вперше була усвідомлена філософією. Складовою поняття «системний аналіз», «системна проблема», «системне дослідження» є слово «система», яке з'явилося в Древній Греції приблизно 2000 – 2500 років тому на-

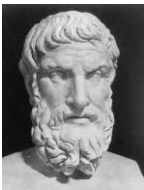
зад і означало: *еднання, організм, устрій, уклад, союз*. Первісне використання терміну «система» було пов'язане з формами соціально-історичного існування. Пізніше принцип порядку, ідеї впорядкування, переносяться на Всесвіт. В античній філософії термін «система» характеризував упорядкованість і цілісність природних об'єктів, а термін «синтагма» – упорядкованість і цілісність штучних об'єктів [2].



**Анаксогор**

Паростки перших системних уявлень зустрічаються у античного філософа *Анаксогора (500-428 рр. до н.е.)*, який використовував два постулати: «*все у всьому*» і «*із всього – все*», які в зародковому вигляді розгадують системні закони, котрі будуть відкриті значно пізніше у XX ст.

Давньоримський філософ і оратор *Марк Тулій Цицерон (106-43 рр. до н.е.)* геніально підмітив, що *світовий організм є нерозривним цілим і всі елементи всесвіту гармонійно пов'язані між собою*.



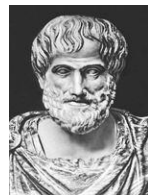
**Епікур**

*Епікур (341-270 рр. до н.е.)* використовував термін «система» для позначення космосу, світового порядку, загальної організованості Всесвіту.

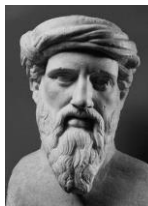


**Марк  
Тулій  
Цицерон**

Пізніше, під системою стали розуміти складну філософську систему, яка пояснює все реально існуюче. Саме такий внесок в системні уявлення вніс *Аристотель (384-322 рр. до н.е.)*, котрий створив першу філософську систему, у якій систематизував знання античного світу. Аристотель, у своїх логічних трактатах, поєднаних загальною назвою «*Органон*», розглядав питання співвідношення цілого і одиничного.

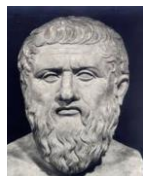


**Аристотель**



**Піфагор**

Пошуком строгих формальних виразних засобів для виразу і вивчення законів розвитку і взаємодії займався і *Піфагор*, вражений несумірністю діагоналі і сторін квадрата, і *Платон*, котрий побудував теорію діалогічної взаємодії для пошуку істинних суджень. Саме в цей період Платоном була сформульована теза про те, що *ціле більше семи його окремих частин*.



**Платон**

У середньовічній філософії, для виразу інтегративності пізнавальних утворень, з'явилися нові терміни: *сума*, *дисципліна*, *доктрина*. Трактування буття як космосу, змінюється розглядом його як системи світу, котра існує незалежно від людини, і яка володіє своїм типом організації, ієрархією, іманентними законами і суверенною структурою.

У філософських роботах середньовіччя робляться спроби придати поняттю «система» чіткість, і прив'язати його до певної області знання. Під системою, на той час, частіше всього розуміли систему знань.



**Імануїл Кант**

*Імануїл Кант (1724-1804 рр.)* в роботі «Загальна природна історія і теорія неба» використовує термін «система» у двох значеннях – для космічних утворень і в гносеологічному змісті, розуміючи під системою єдність різноманітних знань, пов'язаних загальною ідеєю.

*Певний* внесок в системні уявлення вніс *Георг Гегель (1770-1831 рр.)*. Система, як філософська категорія у нього не розглядається, однак будь-який предмет, до якого він звертається, розкривається ним як органічна цілісність, котра розвивається і проходить певні етапи життя.



**Георг Гегель**

Історичним передвісником сучасних системних уявлень були роботи *А. М. Ампера* (1775 - 1836 рр.). У своїй роботі «Досвід філософії наук, або аналітичний виклад класифікації усіх людських знань» (ч. I - 1834 р., ч. 2 - 1843 р.) використовуючи системні уявлення, він довів необхідність формування науки управління державою, яку він назвав кібернетикою.



**А. М. Ампер**

### **Внесок Б. Трентовського в розвиток системного аналізу**

Майже одночасно з Ампером, польський вчений-філософ *Броніслав Трентовський* (1808–1869 рр.) опублікував у 1843 р. в Познані свою книгу «Відношення філософії до кібернетики як до мистецтва управління народом», де розглянув управління державою, як системою. Метою Б. Трентовського була побудова наукових основ практичної діяльності керівника («гібернета»), який повинен вміти, виходячи з суспільного блага, одні суперечності долати, інші – загострювати, скеровуючи розвиток до потрібної мети. За



#### **Б. Трентовський**

Б. Трентовським, дійсне ефективне управління повинно враховувати всі внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на об'єкт керування, а головна складність його реалізації пов'язана зі складністю поведінки людей. Використовуючи знання діалектики, Трентовський стверджував, що суспільство, колектив, і навіть сама людина – це система, єдність протиріч, вирішенням яких і є розвиток. Однак в середині XIX століття знання Трентовського виявилися незатребуваними. Практика управління ще могла обходитися без науки управління. Кібернетика була на певний час позабута.



## **Внесок О. О. Богданова в розвиток системного аналізу**



**О. О. Богданов**

Людство повернулось до ідей кібернетики, коли вийшла у світ праця лікаря, філософа, економіста *Богданова Олександра Олександровича (1873-1928 рр.)* – який створив науку тектологію - «загальну організаційну науку». Ця робота не тільки своїми ідеями передбачила ідеї сучасної кібернетики Н. Вінера, але й внесла свій оригінальний внесок у системні уявлення.

Богданов О. О. відзначав, що всі існуючі об'єкти та процеси мають певний рівень організованості, дав поняття організації і вважав, що на відміну від конкретних природничих наук, тектологія повинна вивчати загальні закономірності організації для всіх рівнів організованості.

В суспільстві і в біологічних системах існують два начала:

– *лабільне (пластичне)* – це функціональна сторона системи (організму), його прагнення швидко адаптуватися;

– *консервативне* – це архітектурна схема організації системи.

За Богдановим, кількість архітектурних форм матерії незмірно бідніша, аніж різноманітність оточуючого нас середовища, а це дає змогу створити теорію структурних схем організації матеріального світу.

*Основна ідея тектології – признання необхідності підходу до будь-якого явища з погляду на його організованість (у інших авторів – системність).* О. О. Богданов розглядає всі явища як безперервні процеси організації і дезорганізації, і рівень організації в системі тим вищий, чим сильніше властивості цілого відрізняються від простої суми його частин. Найважливішим в тектології є те, що основна увага звертається

на закономірності розвитку організації системи, розгляду співвідношень між стійким та змінним, значення зворотних зв'язків, врахування власних цілей організації, значення відкритих систем. Богданов довів розгляд динамічних аспектів тектології до проблеми криз (тепер це є предметом теорії катастроф), тобто таких моментів в історії кожної системи, коли необхідна корінна, «вибухова» перебудова її структури. Чим складніша система, тим більше шансів у виникненні в процесі її розвитку кризової ситуації, що потребуватиме перебудови організації цієї системи. Він підкреслював роль моделювання і математики як потенційних методів рішення задач тектології.

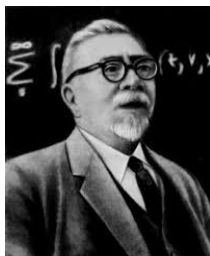
### **Внесок П. К. Анохіна в розвиток системного аналізу**

Наступним щаблем системних уявлень були праці радянського фізіолога *Петра Кузьмича Анохіна*, котрий у 1932 р. створив теорію, яка стала основою нейрокібернетики. Анохін П. К. – учень І. П. Павлова. Однак, на відміну від І. П. Павлова, розумів підкріплення не як ефект дії безумовного подразника, а як аферентний сигнал від самої реакції, що свідчить про її адекватність або неадекватність (зворотна аферентація). Завдяки механізмові зіставлення зворотної аферентації з образом кінцевого результату дії (акцептором дії) формується можливість випереджального відображення дійсності, частковим випадком якого Анохін вважав умовний рефлекс. На цій основі ним була висунута теорія функціональних систем. В основі теорії лежить уявлення про функції як досягнення організмом пристосувального результату під час взаємодії з середовищем. Його теорія отримала розвиток в біології, фізіології, філософії, в теорії прийняття рішень. Пріоритет ідей П. К. Анохіна пізніше признав Н. Вінер.



**П. К. Анохін**

## **Внесок Н. Вінера в розвиток системного аналізу**



**Н. Вінер**

Дійсно явне і масове засвоєння системних понять, суспільне усвідомлення системності світу, суспільства і людської діяльності почалося з 1948 р., коли американський математик Норберт Вінер (1894-1964 рр.) опублікував свою книгу під назвою «Кібернетика». Спочатку він визначав кібернетику як «науку про управління і зв'язки в тваринах і машинах». Таке визначення сформувалося у Вінера завдяки його особливій зацікавленості аналогічними процесами в живих організмах і машинах, однак воно не виправдано звужує сферу додатків кібернетики. Уже в наступній книзі «Кібернетика і суспільство» Н. Вінер аналізує з позицій кібернетики процеси, що відбуваються в суспільстві.

З кібернетикою Вінера пов'язані такі визначення, як типізація моделей систем, виявлення особливого значення зворотних зв'язків у системі, акцент принципу оптимальності в управлінні і синтезі систем, усвідомлення інформації як загальної властивості матерії і можливості її чисельного опису, розвиток методології моделювання взагалі особливо ідеї математичного експерименту за допомогою ЕОМ. Паралельно, і як би незалежно, від кібернетики прокладався ще один підхід до науки про системи – загальна теорія систем (ЗТС). Ідея побудови теорії, яку можна було б застосувати до систем будь-якої природи, була висунута австрійським біологом А. Берталанфі, який в 1951 р. опублікував свою фундаментальну працю, котра називалася «Загальна теорія систем». Таким чином, філософи і математики, геологи і медики помітивши однакові закони розвитку різноманітних об'єктів, запропонували загальне поняття – складна система.

*Складна система* – це структурно організований об’єкт, в якому виділяються стани, переходи, структури і взаємодії частин.

*Системний підхід* дає можливість аналізувати багато складних об’єктів з позицій єдиної загальної методології.

### **1.2.2. Передумови розвитку системних уявлень в астрономії**

Астрономія була однією з перших наук, яка перейшла до системної інтерпретації Всесвіту. Вже в глибокій давнині сформувалися перші космологічні погляди. Вони полягали у тому, що Земля непорушно покоїться у центрі Всесвіту, а Сонце та інші планети обертаються навколо неї. Система Клавдія Птолемея (приблизно 87-165 рр.), була викладена у його відомій праці «Альмагест», і проіснувала майже 1400 років.



**Клавдій  
Птоломей**

Клавдій Птоломей - одна з найбільших фігур в історії науки епохи пізнього еллінізму, знаменитий олександрійський астроном, математик і географ II століття н. е.

В своїй основній праці «Математична побудова», відомій на арабській мові як Альмагест, Птоломей виклав систему астрономічних знань стародавніх Греції і Вавилону. Птоломей сформулював (або передав сформульовану Гіппархом) досить складну геоцентричну модель Сонячної системи з епіциклами, яка домінувала в західному і арабському світі до створення геліоцентричної системи Миколи Коперніка. Альмагест також містив каталог зіркового неба. Однак, список з 48 сузір’їв, не покривав повністю небесну сферу (там були тільки ті зірки, котрі Птоломей міг бачити, знаходячись в Олександрії). Існує гіпотеза, що зоряний каталог Птолемея був уточненою вер-

сією каталогу, створеного раніше Гіппархом. На користь цієї версії говорить те, що, згідно досліджень сучасних істориків астрономії, всі перераховані в каталозі 1022 зірки могли спостерігатися саме Гіппархом на широті його рідного Родосу (36° з. ш.), але каталог не містить жодної зірки, які могли б бути видимими у південнішій Олександрії (31° з. ш.), не спостерігаючись при цьому на Родосі.

Значну роль в становленні нової системності буття відіграло відкриття *Миколи Коперніка* (1473-1543 рр.) котрий в своїй роботі «Про обертання небесних сфер», опублікованій вже після його смерті, прийшов до висновку, що геоцентрична система Птолемея є помилковою і повинна бути замінена на геліоцентричну систему Всесвіту, пояснивши, що Земля, як і інші планети, обертається навколо Сонця і, крім того, обертається навколо своєї осі.

Розмірковуючи про систему Всесвіту Птолемея, Копернік був уражений її складністю і штучністю, а,



**М. Коперник**

вивчаючи твори стародавніх філософів, особливо Нікити Сиракузького, він прийшов до висновку, що не Земля, а Сонце повинно бути нерухомим центром Всесвіту. Виходячи з цього положення, Копернік вельми просто пояснив всю запутаність рухів планет. Однак, не знаючи при цьому реальних орбіт планет, вважав їх колоподібними, і тому був вимушений частково використовувати епіцикли і деференти стародавніх вчених для пояснення різних нерівностей рухів. Ці епіцикли і деференти були остаточно відкинуті через певний час лише Кеплером.

Найважливішою працею Коперніка, вінцем понад 30-річної його роботи у Фромборцібула книга «*De revolutionibus orbium coelestium*» («Про обертання небесних сфер»). Твір був опублікований у Нюрнбергу у 1543 році і присвячений римському папі Павлу.

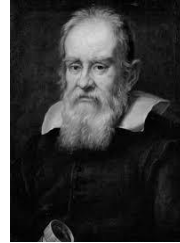
Телеологізм, що обтяжував уявлення Коперніка, був переборений пізніше Галілео Галілеєм (1564-1642 рр.), Іоганном Кеплером (1571-1630 рр.), та Ісаком Ньютоном (1642 -1727 рр.).

Г. Галілей відкрив супутники Юпітера і виступив як мученик науки, котрий захищав перед інквізицією істину - обертання Землі. Одна з його самих відомих книг називалась «Бесіди про дві системи світу – птоломеївську і коперніківську».

Знаходячись в Падуанському університеті, Галілей вивчав інерцію і вільне падіння тіл. Зокрема, він помітив, що прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла, тим самим спростував думку, котра панувала з часів Аристотеля, що «швидкість падіння» пропорційна вазі тіла. Існує легенда про експеримент, в якому Галілей начебто кидав об'єкти різної маси з Пізанської вежі, а пізніше описав їх падіння. Немає ніякого сумніву, що Галілей дійсно проводив подібні експерименти, але до знаменитої похилої вежі у Пізі вони, ймовірно, не мали ніякого відношення. У 1593 році, Галілей випустив книгу під назвою «Механіка», де описав свої досліди і спостереження.

Галілей став одним з засновників принципу відносності у класичній механіці, котрий згодом був названий в його честь. Галілей помітив, що при однакових початкових умовах будь-яке механічне явище в ізольованій системі, котра знаходиться в покої або рухається прямолінійно і рівномірно, протікає однаково.

На підставі спостережень за небом, Галілей зробив висновок, що геліоцентрична система світу, запропонована М. Коперніком є правильною.



**Галілео  
Галілей**



**Іоганн Кеплер**

Йоганн Кеплер (27 грудня 1571 р., Вайль-дер-Штадт - 15 листопада 1630 р., Регенсбург) – німецький математик, астроном і оптик. Відкрив закони руху планет. У книзі «Таємниця світу», що вийшла в світ в 1596 році, Кеплер спробував привести орбіти п'яти відомих тоді планет у відповідності з поверхнями п'яти Платонових тіл. Орбіту Сатурну він представив як коло (ще не еліпс) на поверхні кулі, описаного навколо куба. У куб, у свою чергу, була вписана куля, яка повинна була представляти орбіту Юпітера. У цю кулю був вписаний тетраедр, описаний навколо кулі, що представляв орбіту Марса і т. д. (рис. 1.4).

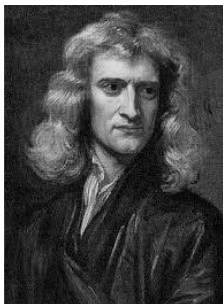


**Рис. 1.4. Кубок Кеплера: модель Сонячної системи з п'яти Платонових тіл**

Незважаючи на те, що ця робота після подальших відкриттів Кеплера втратила своє первинне значення, однак представляє не тільки історичний інтерес, але і приваблива з математичної точки зору, оскільки представляла відношення радіусів планет ірраціональними числами.

Кеплер уважно вивчав дані численних спостережень Браге і в результаті ретельного аналізу дійшов висновку, що траєкторія руху Марса представляє собою не коло, а еліпс, у фокусі якого знаходиться Сонце. Цей висновок відомий сьогодні як *перший закон Кеплера*. Подальший аналіз призвів до *другого закону* – чим далі планета знаходиться від Сонця, тим повільніше вона рухається. Обидва закони були описані Кеплером у книзі «Нова астрономія», яка вийшла у світ у 1609 році. У 1611 році Кеплер публікує книгу «Діоптрика», яка по суті стала першим викладом оптики як науки. Тут Кеплер докладно описує переломлення світла і дає поняття оптичного зображення.

Одним з важливих етапів в історії науки було передбачення Кеплером на основі відкритих ним законів проходження Венери на фоні сонячного диску у 1631 році. Закони динаміки планет, відкриті Кеплером, послужили пізніше Ісаку Ньютону основою для створення теорії гравітації.



**Ісаак Ньютон**

*Ісаак Ньютон* (4 січня 1643 р. –30 березня 1727 р.) – англійський фізик, математик, астроном, філософ, теолог і алхімік; автор роботи «Математичні начала натуральної філософії», в якій описано закон всесвітнього тяжіння і так звані закони Ньютона, що заклали основи класичної механіки.

Ньютон вважають творцем диференціального і інтегрального обчислень одночасно з Г. Лейбніцем. Ньютону також належать фундаментальні відкриття в оптиці - зокрема, він з'ясував причину розсіювання світла, показав, що біле світло розкладається на кольори радуги внаслідок різного переломлення променів різних кольорів при проходженні через призму, і заклав основи правильної теорії кольорів. Побудував дзеркальний телескоп. Ньютону належить перша систематична публікація закону всесвітнього тяжіння і трьох законів механічного руху (закони Ньютона) - закон інерції, закон пропорційності сили прискоренню, і закон дії і протидії. Він представив достатньо повну теорію руху небесних тіл, створивши основи небесної механіки.

*По словам А. Ейнштейна*, «Ньютон був першим, хто спробував сформулювати елементарні закони, котрі визначають часовий хід широкого класу процесів в природі з високим ступенем повноти і точності» і зробив своїми працями глибокий і сильний вплив на весь світогляд в цілому.

В його честь названа одиниця виміру сили в Міжнародній системі одиниць – Ньютон.



Значний внесок в системні уявлення вніс *Джордано Бруно* (1548 - 1600 *рр.*). Космологічно, світ по Бруно – це система систем. Завдяки йому стала стверджуватись концепція нескінченності Всесвіту та незліченної множини світів.



*Джордано Бруно*

### **1.2.3. Передумови розвитку системних уявлень у фізиці та хімії**

У стародавніх греків, світ складався з декількох стихій (вогнь, повітря, земля, вода). Згодом, ці погляди декілька трансформуються, завдячуючи древньогрецьким атомістикам *Левкіпу* (500-440 *рр. до н.е.*) та *Демокриту* (460-360 *рр. до н.е.*). В основі світу, по теорії Демокрита лежать два начала – атоми і пустота. Він вважав атоми найдрібнішими, неподільними елементами, які рухаються у вакуумі і відрізняються один від одного лише формою, розміром, порядком і положенням. Взаємодіючи (зіштовхуючись і зчіплюючись) один з одним, вони утворюють тіла і предмети, з якими ми маємо справу у повсякденному житті. Однак Демокрит не зумів пояснити, чому саме атоми з'єднуються саме так, а не інакше, утворюючи різноманітні тіла [2].

Револьюційним проривом в області системної побудови речовини, стало відкриття у 1869 році *Д. І. Менделєєвим* (1843-1907 *рр.*) періодичної системи елементів. В роботі «Досвід системи елементів, заснований на їх атомній вазі і хімічній подібності» вчений заклав принципово новий підхід до розуміння системності як загального і визначального принципу матерії. Подальший розвиток науки привів до побудови атома як системи, а також так званих елементарних частинок, котрі згодом, також виявилися доволі складними системами.

Системне сприйняття атому стало можливим, завдяки *Ернесту Резерфорду (1871-1937 рр.)*. Саме він запропонував концепцію планетарної побудови атому, коли навколо позитивно зарядженого ядра, обертаються негативно заряджені електрони. Дана концепція була уточнена датським фізиком *Нільсом Бором (1885-1962 рр.)*, який відкрив дуалізм електрону, котрий міг виступати яку вигляді частинки, так і у вигляді хвилі. А пізніше, *Вернером Карлом Гейзенбергом (1901-1976 рр.)* була заснована окрема наука - квантова механіка, яка пояснила рух електрону в атомі.

У 1891 р. російський академік *Є. С. Федоров*, який працював в області мінералогії і кристалографії, і вивчав особливості будови кристалічних решіток, відзначив, що вся неувяна розмаїтість природних тіл реалізується з обмеженого і невеликого числа вихідних форм. Розвиваючи системні уявлення, він встановив і деякі закономірності розвитку систем. Йому належить спостереження, що головним засобом життєздатності і прогресу систем є не їх пристосованість, а здатність до пристосуванню («життєва рухливість»), не стрункість, а здатність до підвищення стрункості.

#### **1.2.4. Передумови розвитку системних уявлень в медицині та біологічних науках**



**Вільям Гарвей**

Більше ніж півтори тисячі років у біологічних науках панували погляди *Клавдія Голена (130-200 рр.)*, які стверджували, що артеріальна і венозна кров – це різні рідини. Перша «розносить рух, тепло і життя», а інша покликана «годувати органи». Біологія була однією з перших наук, у якій об'єкти дослідження почали розглядатися як системи. Систему кровообігу, як систему, вперше описав у 1616 р. *Вільям Гарвей (1578-1657 рр.)*.

Гарвей (Harvey) Вільям (1578-1657 рр.), англійський лікар, засновник сучасних фізіології і ембріології. Описав велике і мале кола кровообігу. В праці «Анатомічне дослідження про рух серця і крові у тварин»(1628 р.) виклав вчення про кровообіг, що спростовувало уявлення, які панували з часів Галена, за що піддавався переслідуванню з боку сучасних йому вчених і церкви. Вперше висловив думку, що «все живе виникає з яйця».



**Антоні Ван  
Левенгук**

*Антоні ван Левенгук* (Antoni van Leeuwenhoek) – голландський натураліст, який значно вдосконалив мікроскоп, основоположник наукової мікроскопії, член Лондонського Королівського суспільства (з 1680 року), вперше в історії за допомогою свого мікроскопу спостерігав мікроскопічну структуру різних форм живих організмів.

Шведський лікар *Карл Лінней* (1707-1778 рр.), який належить до числа знаменитих дослідників і першовідкривачів тайн природи, систематизував увесь рослинний і тваринний світ Землі. Хоча він не зробив ніяких видатних відкриттів ні в ботаніці, ні в зоології, але запропонував систему наукового найменування рослин і тварин. Системність по К. Ліннею - це системність не стільки природи, скільки способу її бачення, тобто поняття «система» носить методологічний характер. Ліней розробив нову систематику рослин і тварин, значно кращу і більш досконалу, ніж та, котрою користувалися вчені до нього. Таким чином, Ліней по справедливості вважається батьком сучасної систематики тварин і рослин. Однак, незважаючи на це, Лінней залишався прибічником помилкової теорії про незмінюваність видів.



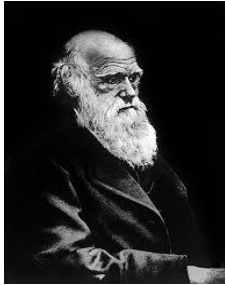
**Карл Лінней**

*Жан Батіст Ламарк (1744-1829 рр.)* довів, що зміни в рослинах та «нижчих» тваринах відбуваються під впливом навколишнього середовища, здобуваючи ту чи іншу форму та властивості.

Ламарк вперше у 1794 році розмежував тваринний світ на дві основні групи - хребтних і безхребтних; саме йому належить і термін «безхребетні». В рамках безхребетних, він виділив 10 класів, розподіливши їх у порядку уведеного ним принципу удосконалювання – градації між чотирма ступенями організації, що послідовно ускладнюються. Крім ботанічних і зоологічних робіт, Ламарк – автор публікацій по геології, гідрології і метеорології.



**Жан Батіст  
Ламарк**



**Чарльз Дарвін**

*Чарльз Роберт Дарвін (1809-1882 рр.)* - англійський вчений, що створив сучасну теорію еволюції і запропонував разом з Альфредом Расселом Уоллесом принципи природного добору. 24 листопада 1859 р. вийшла в світ геніальна праця Чарльза Дарвіна «Походження видів шляхом природного добору, або збереження обраних рас у боротьбі за життя». Появу «Походження видів», один із сучасників Дарвіна образно порівнював з вибухом, *«якого ще не бачила наука, який так довго готувався і так раптово грянув, був так нечутно підведеним і так смертоносно разючим. За розмірами і значенням заподіяного зруйнування, за тією луною, яка відгукнулася в найвіддаленіших галузях людської думки, це був науковий подвиг, що не мав собі подібного»*. Епохальна праця Дарвіна сім разів перевидавалась за життя автора, вона швидко стала відомою вченим інших країн і була перекладена на більшість європейських мов.

Серед вчених, що розробляли системні концепції або окремі системні принципи, треба також відзначити: М. О. Білова, А. фон Бергаланфі, О. О. Богданова, співробітників Н. Вінера А. Розенблюта і Дж. Б. С. Холдейна, В. О. Геодакяна, М. М. Завадовського, Ю. Лібіха, К. А. Тімірязева, У. Р. Ешбі (психіатра і кібернетика) і багато інших.

### 1.2.5. Передумови розвитку системних уявлень у техніці

Аналіз історичного матеріалу показує, що стихійне становлення системного підходу пов'язано також і з технікою. Розвиток техніки йшов від ручної праці до механізації, від механізації до автоматизації. Паралельно цим процесам розвивалась наука про управління – кібернетика.



**Марк Вітрувій  
Полліон**

У стихійному, неусвідомленому вигляді, ідея системності техніки представлена вже в роботах античних авторів, які мали справу з відносно простими механізмами. В якості джерела інформації при розгляді цього періоду в розвитку техніки, використовується трактат *Марка Вітрувія* (римський архітектор і інженер 1 ст. до н.е.) «Про архітектуру», який історики античності називають «енциклопедією техніки античного періоду». В опису конструкцій механізмів, у Вітрувія, достатньо повно розкривається системний характер техніки. Трактат «*Про архітектуру*» представляє собою величезну цінність для історії науки, інженерної справи і архітектури. Вітрувій надає величезне значення місцю розташування будівлі і її орієнтації за частинами світу, акустиці і домірності як планів будівель, так і фасадів, що свідчить про його пізнання в природно-наукових дисциплінах, математиці, музиці, а також у

філософії. Вітрувій вказує, що архітектор повинен розбиратися в географії, кліматі, людях, йому необхідні відомості з області медицини, оптики, перспективи, акустики, механіки, геометрії та інших розділів математики, знання гармонії і астрономії.

Необхідно відзначити, що багато вчених XIX і особливо XX сторіччя розробляли окремі системні ідеї, не називаючи їх системними, оскільки такої області знання ще не існувало. Конкретні наукові принципи системної методології і аналізу систем були сформульовані лише у 20-х роках XX століття. Вони знайшли відображення в такому науковому напрямку знань як *структуралізм*. В його основу був покладений структурний метод дослідження об'єктів і процесів з елементами їх формалізації і математизації. Можна вказати на такі основні процедури структурного методу:

1) виділення первинної множини об'єктів з ідентичною структурою;

2) вичленення серед цієї множини елементарних груп об'єктів з найбільш тісними відношеннями між ними;

3) визначення характеру й перетворення цих відношень, їх систематизація і побудова абстрактної структури шляхом безпосереднього синтезу і формально-логічного і математичного моделювання з наступним визначенням теоретично можливих наслідків і перевіркою їх на практиці.

Цей метод застосовується в структурно-семантичних дослідженнях, що мають головним чином відношення до теорії інформації та кібернетики.

Близьким до системного аналізу є другий напрямок системної методології – *структурно-функціональний аналіз*, який являє собою галузь системного дослідження явищ і процесів, котрий розглядає систему як структурно членовану цілісність, у котрій кожний елемент структури має певне функціональне призначення. Наприклад, у суспільстві, як складній структурі, можна виділити структурні утворення: суспільно-економічну

формацію, матеріальне виробництво, духовний сектор, економічні та соціально-політичні відносини, соціально-економічні і культурно-політичні інституції тощо. Кожна з означених структур виконує певні функції, знаходячись у зв'язку і залежності між собою таким чином, що зміни в одній із них, призводять до певних зрушень у інших. Вивчення функціональних зв'язків і залежностей і є важливим завданням структурно-функціонального аналізу.

До початку ХХ століття європейська і світова цивілізації підійшли з тугим вузлом проблем, котрі усвідомлювалися лише небагатьма мислителями, оскільки захоплення технічним прогресом певним чином загіпнотизувало людей. Фактично мова йшла про механістичну картину Всесвіту і механіцизм як метод. Відповідно до цього, Всесвіт розглядався як гігантський механізм, а окремі об'єкти і процеси, як деталі цього механізму. З іншого боку, на початку ХХ століття наука «дозріла» для нових узагальнень і розробки нових методів. Вона потребувала нового системного бачення світу і системного методу пізнання. В науковому мисленні зародилась новаторська ідея еволюції, яка вимагала нової науки про складні системи.



**Ніколя Леонар  
Сад і Карно**

Проблеми почалися, коли термодинаміка поставила під сумнів механістичну картину Всесвіту, з її знаменитим другим законом – законом розсіювання енергії, доводячи, що якби Всесвіт був гігантською машиною, то він неминуче повинний був би зупинитися, оскільки запас корисної енергії рано чи пізно був би вичерпаний. Згідно цього закону, який вперше сформулював французький фізик Карно (Nicolas Leonard Sad i Carnot) в рамках технології теплових двигунів, у фізичних процесах існує тенденція руху від порядку до безладдя.

Будь-яка ізольована, або замкнена система буде спонтанно розвиватись у напрямку постійного наростаючого безладдя. Для того, щоб виразити цей напрямок еволюції фізичних систем у точній математичній формі, фізики запровадили нову величину, назвавши її ентропією.

*Ентропія* – функція стану термодинамічної системи, яка в спостережуваних явищах і процесах характеризує знецінювання (розсіювання) енергії, зумовлене перетворенням усіх видів її у теплову, і рівномірним розподілом тепла між тілами.

Згідно другого закону, деяка частина механічної енергії завжди розсіюється у вигляді тепла і не може бути повністю відновлена. Таким чином, вся машина Всесвіту постійно уповільнює хід і, в ррешті-решт, колись повинна повністю зупинитись. Ця картина космічної еволюції отримала назву «теплової смерті Всесвіту». Оскільки ентропія замкненої фізичної системи постійно зростає, а еволюція супроводжується збільшенням безладдя, то саме ентропію принципово можна вважати мірою безладдя. Таким чином, разом з поняттям ентропії та формулюванням другого закону, термодинаміка запровадила в науковий вжиток ідею необоротних процесів – поняття «стріли часу».

Іншою великою проблемою в механіцизмі був розгляд об'єкту як простої «суми» його частин, що неминуче обмежувало дослідження рівнем підсистем, а цього явно недостатньо для пізнання об'єкту. Крім того, «механізми», «машини», як складові частини об'єкта, є замкнутими, замкнутими системами, що знаходяться у стійкому, рівноважному стані, а подібні системи складають лише невелику частину Всесвіту. Більшість систем є відкритими, наприклад, біологічні і соціальні, і рідко знаходяться в стійкому, рівноважному стані, тому будь-які спроби дослідити їх в межах механістичного світогляду приречені на провал. Ні для кого не було се-



кретом, що живий Всесвіт розвивався і розвивається від безладдя до порядку, до станів, які характеризуються зростаючою складністю.

Отже наприкінці XIX століття, виникли і існували два протилежних погляди на еволюційні зміни Всесвіту. З одного боку, еволюційний розвиток живого Всесвіту, котрий розгортається в сторону зростання порядку і складності, а з іншого, спрацьованого двигуна, гаснучого світу з неухильно наростаючим безладдям.

### **Внесок А. фон Бергаланфі в розвиток системного аналізу**

Родоначалником загальної теорії систем прийнято вважати крупного біолога *Людвіга фон Бергаланфі*. Основним мотивом, котрий привів Людвіга фон Бергаланфі до думки про необхідність системного підходу, був опір зростаючій спеціалізації, коли за деталями не видно ціле. Спроба використання механіцизму та класичної термодинаміки до живих організмів (початок XX ст.) показала, що при розгляді органічних процесів та явищ, використання фізико-хімічних принципів має велике значення, тому що в організмі є системи, що перебувають в рівновазі (яка характеризується мінімумом вільної енергії і максимумом ентропії), однак сам організм не може розглядатися як замкнута система, бо він таким не є. Тому А. Бергаланфі запропонував загальну теорію систем (ЗТС), котра граничить з сучасною фізикою, хімією і біологією.

Починаючи зі своїх перших робіт, А. Бергаланфі проводить ідею нерозривності природно-наукового (біологічного) і філософського (методологічного) досліджень.

Бергаланфі намагався зміцнити свою загальну теорію відкритих систем на стійких біологічних основах. Він оспорював домінуюче положення фізики у сфері сучасної науки і підкреслював принципову різницю між фізичними і біологічними системами, оскі-

льки організм представляє собою відкриту систему, яка залишається постійно урівноваженою, незважаючи на безперервну зміну речовини і енергії у так званому стані рухомої рівноваги.

Людвігу фон Бергаланфі не вдалось вирішити цю проблему, але він зробив перший крок, визнавши, що живі організми є системами, котрі не можуть бути описані у рамках класичної термодинаміки. Він назвав такі системи відкритими, оскільки, для того, щоб підтримувати своє життя, їм доводиться підживлювати себе через безперестанний потік речовини і енергії із зовнішнього середовища. На відміну від закритих систем, які знаходяться в стані теплового балансу, відкриті системи далекі від досконалості і підтримують себе в «непохитному стані», який характеризується безперестанним потоком і змінами.

Бергаланфі вдало визначив суть непохитного стану як процес метаболізму, тобто перетворення речовин і енергії, що привело його до постулату саморегуляції, як ще однієї ключової властивості відкритих систем.

У 1940-50 рр. ХХ ст. А. Бергаланфі узагальнив ідеї, що містились в теорії відкритих систем, і запропонував програму побудови загальної теорії систем (ЗТС), і висунув програму побудови, яка є загальною теорією організацій (ЗТО). Проблеми організації, цілісності, спрямованості, телеології, саморегуляції, динамічної взаємодії були досить актуальними для фізики, хімії, фізичної хімії і технології, а не тільки для біології, де подібні проблеми зустрічались усюди. Але такі поняття були далекі класичній фізиці. Якщо до цього часу уніфікацію наук бачили зазвичай, у зведенні всіх наук до фізики, то з точки зору А. Бергаланфі, єдина концепція світу, може бути, скоріше всього, заснована на ізоморфізмі законів у різних областях. Як наслідок, він приходить до концепції синтезу наук, яка в протилежність редукціонізму (тобто зведенню всіх наук до фізики) називає перспективізмом.

До недоліків теорії систем А. Берталанфі, відноситься неповне визначення поняття «система», відсутність особливостей систем, що самі розвиваються, теоретичного дослідження зв'язку, а також умов, при яких система модифікує свої форми. Але основним методологічним недоліком його теорії є ствердження автора про те, що вона виконує роль філософії сучасної науки, формуючи узагальнені філософські принципи і методи наукового дослідження.

Берталанфі так і не побачив свою концепцію реалізованою, і, можливо, загальна наука про цілісність, як він її собі представляв, ніколи не буде сформульована. Однак, вже чотири десятиріччя після його смерті (1972 р.) розвивається системна концепція життя, розуму і свідомості, котра виходить за рамки звичайних дисциплін і дійсно обіцяє об'єднати різні, раніш ізольовані області досліджень.

### **Внесок М. Месаровича в розвиток системного аналізу**

У 1959 році, в Кейсівському технологічному інституті (Клівленд, шт. Огайо, США) був створений центр системних досліджень, відомий по сформованій там загальній теорії систем, названій за ім'ям його керівника - М. Месаровича.



**М. Месарович**

Теорія систем по М. Месаровичу веде по випробуваному математичному шляху створення теорій і апаратів, що забезпечують моделювання об'єктів, складність яких визначається кількістю складових частин і видом їх математичного опису.

## **Внесок радянських і вітчизняних вчених в розвиток системного аналізу**



**Є. П. Попов**

Серед радянських вчених, які займалися проблемами створення технічних систем слід визначити Євгенія Павловича Попова (1 лютого 1914 - 3 листопада 1999) - вчений, фахівець в області автоматизації процесів управління. Академік РАН, тричі лауреат Державних премій СРСР, генерал-майор-інженер. У 1939 закінчив Московське вище технічне училище (МВТУ) ім. Н. Е. Баумана, в 1939-43 механік авіаескадрильї, в 1943-64 викладач Ленінградської військово-повітряної інженерної академії ім. А. Ф. Можайського (професор з 1948); в 1964-71 голова Секції прикладних проблем при Президії АН СРСР, з 1971 завідувач кафедрою МВТУ. Основні роботи з теорії управління, теорії нелінійних систем автоматичного регулювання, теорії автоматичного управління літальними апаратами, по управлінню роботами-маніпуляторами.



**В. А. Бесекерський**

Віктор Антонович Бесекерський (1915-1999) - видатний вчений, заслужений діяч науки і техніки РСФСР. Автор знаменитих книг «Теорія систем автоматичного регулювання» «Збірник задач з теорії автоматичного управління регулювання», «Теорія систем автоматичного управління» і багатьох інших. Творча і працьовита людина, яка вклала багато сил у розвиток прикладної ТАУ і створила графо-аналітичний метод синтезу систем автоматичного регулювання за заданими якісними показниками. Його наукові праці досі актуальні і ще довго будуть корисні інженерам і вченим.

У вітчизняній історії є приклад, коли підручник став загально визнаним без будь-якої підтримки з боку Міністерства освіти або інших державних органів. За результатами анкетування 80-х років 90% всіх технічних вузів СРСР використовували в навчальному процесі книгу Бесекецького В. А. і Попова Є. П. «Теория систем автоматического регулирования» (М., Наука). Книга видавалася три рази - в 1966, 1972 і 1975 роках - загальним тиражем понад 60 000 примірників.



**В. М. Глушков**

Віктор Михайлович Глушков (1923-1982). Визначний вчений-кібернетик, професор Київського університету, академік АН УРСР, АН СРСР, віце-президент АНУРСР, Герой Соціалістичної Праці, лауреат Ленінської премії, Державної премії СРСР (двічі), Державної премії України.

Автор фундаментальних праць з теоретичної та прикладної кібернетики, штучного інтелекту, теорії цифрових автоматів, з питань застосування кібернетичних методів в економіці.

Початок кібернетичного періоду діяльності Глушкова припадає на 1956 р. У цей час він приїжджає до Києва. Далі вся наукова й педагогічна діяльність Глушкова буде нерозривно пов'язана з цим містом. З 1956 р. він завідує лабораторією обчислювальної техніки й математики, а з 1957 р. працює директором обчислювального центру АН УРСР, створеного на базі цієї лабораторії. В 1962 р. на базі обчислювального центру було створено Інститут кібернетики АН УРСР, директором якого став В. М. Глушков.

З 1957 р. Віктор Михайлович працює професором Київського університету. У 1958 р. його обирають членом-кореспондентом, а в 1961 р. - академіком АН УРСР. З 1962 р. В. М. Глушков - віце-президент АН УРСР, а у 1964 р. його обирають дійс-

ним членом Академії наук СРСР. В. М. Глушков був нагороджений багатьма орденами і почесними званнями, відзначений Ленінською премією, Державними преміями СРСР і УРСР.

Він був одним з ініціаторів створення факультету кібернетики Київського університету. З 1965 р. до дня своєї смерті очолював кафедру теоретичної кібернетики за сумісництвом. В. М. Глушков опублікував понад 800 робіт, у т. ч. 30 монографій.

Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова Національної академії наук України. Протягом п'ятдесяти років в Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України сформовано наукові школи з комп'ютерної математики та дискретної оптимізації, математичної теорії обчислювальних систем та штучного інтелекту, системного аналізу і стохастичного програмування, математичної теорії надійності і теорії програмування, що здобули світове визнання (рис. 1.5).

***Основними напрямками наукових досліджень Інституту сьогодні є:***

– розробка загальної теорії та методів системного аналізу, математичного моделювання, оптимізації та штучного інтелекту;

– розробка загальної теорії керування, методів і засобів побудови інтелектуальних систем керування різного рівня та призначення;

– створення загальної теорії обчислювальних машин і розробка перспективних засобів обчислювальної техніки, штучного інтелекту та інформатики;

– створення перспективних систем математичного забезпечення загального та прикладного призначення;

– розробка нових інформаційних технологій та інтелектуальних систем;

– розв'язання фундаментальних та прикладних проблем інформатизації суспільства.



**Рис. 1.5. Кібернетичний центр НАН України та музей історії комп'ютерної науки і техніки.**  
<http://incyb.kiev.ua/>

### **1.3. Розвиток системних уявлень на сучасному етапі**

З середини ХХ століття, у зв'язку з появою складних і великих технічних систем, виникла необхідність спеціального теоретичного обґрунтування – методологічного характеру. Різко зросли комплексність і складність проблем, деякі з них стали глобальними (наприклад, зв'язок за допомогою супутників). Витрати на реалізацію того або іншого рішення, стали досягати багатьох десятків, сотень мільйонів і навіть мільярдів доларів, а ризик невдачі ставав все відчутніше. Потрібно враховувати все більшу кількість взаємозалежних обставин, а часу на прийняття рішення залишалось все менше. Особливо це стосувалося розробок нової військової техніки. Потрібні методи, які б дозволили аналізувати складні проблеми як ціле, за-

безпечували розгляд багатьох альтернатив, кожна з яких описувалася великим числом змінних, забезпечували повноту кожної альтернативи, допомагали вносити вимірність, давали можливість відображати об'єктивні і суб'єктивні невизначеності [2,23].

Отримана в результаті розвитку і узагальнення широка і універсальна методологія рішення проблем, була названа «системним аналізом». Розробка і широке застосування системного аналізу (СА) – заслуга знаменитої фірми «RAND corporation», яка була створена у 1947 р. Фахівці цієї потужної корпорації виконали ряд фундаментальних досліджень і розробок по СА, орієнтованих на рішення слабо структурованих (змішаних) проблем Міністерства оборони США. У 1948 р. Міністерством оборони, зокрема Військово-повітряними силами (ВПС), була створена група оцінки систем озброєння, а двома роками пізніше – відділ аналізу вартості озброєння. Створення надзвукового бомбардувальника В-58, яке почалося у 1952 р., стало першою системною розробкою.

У 1953 році в США було засноване міжнародне Товариство досліджень з загальної теорії систем (Society for General Research). Завдяки діяльності цього товариства, а також діяльності ряду наукових шкіл, що з'явилися на теренах ряду держав, системна методологія впроваджувалась не тільки в наукову, а й в практичну сферу діяльності. Так, в США спочатку виникли групи дослідження операцій у військовій справі, а через певний час, і в цивільних галузях. Найбільш потужні групи спеціалістів-системотехніків працювали в корпораціях «RAND corporation», «Systems Development Corporation» та інших.

Впровадження системного аналізу в проектування сучасної техніки вимагало випуску методичної літератури. Одна з перших книг по розв'язанню проблем вийшла у 1955 р. - «Мистецтво вирішення проблем» Е. Хаднета. Перша книга по системному аналізу (СА) ви-



йшла у 1956 р. Її опублікувала «RAND corporation» (автори А. Кан і С. Манн). Через рік (1957) з'явилася «Системотехніка» Г. Гуда і Р. Макола, де була викладена загальна методика проектування складних технічних систем. Методологія СА була детально розроблена і представлена у книзі Ч. Хітча і Р. Маккіна «Воєнна економіка в ядерний вік», котра була опублікована у 1960 р. В ній також приводиться системний додаток до методів кількісного порівняння альтернатив для рішення проблем озброєння. У 1962 р. виходить в світ один з найкращих підручників по системотехніці (А. Холл «Досвід методології для системотехніки»), який носить вже не довідковий або прикладний характер, а представляє теоретичну розробку проблем системотехніки. У 1965 р. опублікована книга Е. Квейда «Аналіз складних систем для рішення військових проблем». В ній представлені основи нової наукової дисципліни – аналізу систем, яка спрямована на обґрунтування методів оптимального вибору при рішенні складних проблем в умовах високої невизначеності. Ця книга є переробленим викладом курсу лекцій по аналізу систем, прочитаних працівниками «RAND corporation» для керівних спеціалістів Міністерства оборони і промисловості США. У 1965 р. також виходить в світ книга С. Оптнера «Системний аналіз для рішення ділових і промислових проблем». Дуже скоро з'ясувалося, що проблеми багатьох цивільних організацій, фірм, маркетингу, аудита та інших галузей не тільки припускають, але й потребують обов'язкового застосування методології СА. Системний підхід досить швидко перетворився у важливий метод пізнання, на відміну від спеціальних прийомів, характерних для розробки техніки XVI - XIX ст. Це склало другий етап історичного розвитку системного підходу в техніці.

Якщо при стихійному використанні системного підходу головною метою було вивчення кінцевих результатів, то для другого етапу розвитку системного

аналізу характерно переключення уваги на початкову стадію, яка пов'язана з вибором та обґрунтуванням цілей, їх корисності, умов реалізації, зв'язків з попередніми процесами. Це поставило вимогу знань про структуру і функції технічних систем (ТС), що в свою чергу, підвищило роль теоретичних знань.

Якщо теоретична діяльність першого етапу була спрямована на опис та класифікацію досліджуваних об'єктів, то головними моментами другого етапу, стали виявлення механізмів функціонування ТС, а також знань умов, котрі порушують їх нормальну діяльність. Механізм функціонування включає дослідження функції системи, визначення зв'язків функції з множиною взаємодіючих елементів, розгляд структури ТС не як відношення (взаємозв'язок, взаємодія), а як певним чином упорядковане розташування одних елементів ТС відносно інших (відношення між відношеннями). Знання структури і функцій ТС є важливою, однак не достатньою умовою для ефективного вирішення сучасних проблем. Треба обов'язково співвіднести мету суб'єкта з цілями системи і з'ясувати, як позначиться їх реалізація на функціонуванні ТС.

Як уже відзначалося, загальна теорія систем дала поштовх до появи та розвитку нових галузей науки та практики, зокрема, таких, як кібернетика, системотехніка, біоніка, інженерна психологія, теорія дослідження операцій тощо. В економіці та техніці з'явилися: економічна кібернетика, теорія прийняття рішень, системотехніка, яка охоплює питання проектування, створення та функціонування складних систем. Але і кібернетика, і системотехніка не змогли б розвиватися без теорії управління і теорії прийняття рішень, тому що вони спрямовані на розробку методів та засобів функціонування систем різного типу.

З метою об'єднання зусиль багатьох наукових шкіл, що працюють в галузі системних методів аналізу, у 1972 році в Лаксенбурзі, що знаходиться поблизу

столиці Австрії – Відня, був створений Міжнародний інститут прикладного системного аналізу (IIASA – International Institute for Systems Analysis), в якому беруть участь 17 держав.

Проект створення IIASA вперше став обговорюватись президентом США Ліндоном Джонсоном і прем'єр-міністром СРСР Олексієм Косигініним на зустрічі по арабо-ізраїльському конфлікту на засіданні Генеральної Асамблеї ООН у 1967 році. Зустріч відбулася у місті Глассборо, штат Нью-Джерсі, на півшляху між Нью-Йорком і Вашингтоном.

Задача розробки цієї ідеї була доручена з американської сторони Макджорджу Банді і з радянської – Джермену Михайловичу Гвішіані. Вони відразу приступили до роботи, але у зв'язку з чехословацькими подіями 1968 року (радянський уряд увів війська у Чехословаччину) наступило певне гальмування проекту, котре продовжувалося до жовтня 1972 року. IIASA був створений у жовтні 1972 року і первісно в ньому приймали участь 11 держав: США, Радянський Союз, Канада, Японія, ФРН і НДР, Польща, Болгарія, Франція, Великобританія і Італія.

Цікаво, що установча конференція проходила під егідою Королівського товариства у Лондоні, а головував на ній - лорд Соллі Зукерман, один з батьків-засновників математичного моделювання. На конференції виникла дискусія про місце постійного розташування інституту. Пропонувалися різноманітні варіанти, зокрема Фонтенбло у Франції, містечко в англійському графстві Суссекс та декілька інших, але у підсумку обрали австрійський Лаксенбург. Австрійський уряд виділив Інституту замок – колишню резиденцію королеви Марії Терезії, у вісімнадцяти кілометрах від центра Відня. Цей палац, побудований у стилі бароко кінця XVIII сторіччя за часів імператриці Марії Терезії, слугував у минулому літньою резиденцією і мисливським будинком родини Габсбургів. Заклад ко-

ристувався реальною підтримкою з боку австрійського уряду, зокрема, з боку тодішнього канцлера Бруно Крайського і міністра закордонних справ Рудольфа Кірхшлегера (в подальшому президента Австрії). Інститут також часто відвідував кардинал Франц Кеніг, котрий також був активно залучений до «зведення мостів» між Сходом і Заходом в період «холодної війни».

По мірі відбудови замка, інститут розвертав свою роботу: спочатку він займав усього вісім кімнат. До моменту офіційного відкриття це був, по суті, єдиний міст через «залізну завісу». Не можна стверджувати, що інститутом не цікавилися спецслужби по обидві сторони, але це не перешкодило IASA отримати багато цікавих наукових результатів. Одна з перших конференцій була присвячена енергетиці, в першу чергу вугіллю; там зустрілося багато американських і радянських фахівців по енергетиці.

В момент створення IASA існували різні уявлення про особу задачу цієї установи. Більш прагматичні американці говорили: оскільки багато існуючих наукових теорій поки ще не впроваджені в практику, давайте застосуємо відомі теорії до існуючих «гарячих» проблем і поділимося результатами і досвідом. Радянські фахівці, навпаки, вірили в існування якогось системного алгоритму, котрий має магічну дію. По суті, з об'єднання двох підходів і вийшло те, що було названо прикладним системним аналізом. При тому американцям більше подобалося слово «прикладний», а радянським фахівцям - слово «системний».

IASA проводить роботу з застосування методів системного аналізу в межах проблем, вирішення яких вимагає міжнародній співпраці (наприклад, охорона навколишнього середовища, освоєння ресурсів Світового океану, сумісне використання прикордонних водних басейнів тощо). Сьогодні, мабуть, важко знайти розвинену державу, у якій би не проводилися ті або інші дослідження з системного аналізу і не здійснювалося впровадження їх результатів.

Сучасний розвиток системного підходу йде в трьох напрямках:

- 1) системології як теорії ТС;
- 2) системотехніки як практики;
- 3) системного аналізу як методології.

Спочатку, системний аналіз базувався головним чином на використанні складних математичних прийомів. Через деякий час вчені прийшли до висновку, що математика неефективна при аналізі широких проблем із множиною невизначеностей, котрі характерні для дослідження і розробки техніки як єдиного цілого. Тому стала відпрацьовуватися концепція аналізу, в якій акцент робиться переважно на розробку нових діалектичних принципів наукового мислення, логічного аналізу ТС з урахуванням їх взаємозв'язків і суперечливих тенденцій. При такому підході, на перший план висуваються вже не математичні методи, а сама логіка системного аналізу, упорядкування процедури прийняття рішень.

Не випадково, що останнім часом під системним підходом найчастіше розуміють певну сукупність системних принципів. Запропоновані варіанти загально-системних концепцій будуються на різних передумовах і відрізняються розманітністю використовуваних засобів. Саме цей факт висування цих концепцій, перетворив системний підхід в наукову реальність. Теорії включають принципи та закони у своїй області знань, перетворюючи їх у цілісні системи. А принципи - це узагальнені дослідні факти (С.І. Вавилов). Діалектика розвитку техніки полягає у циклічному взаєморозвитку технології та техніки з паралельним розвитком фундаментальної науки.

Техніка – це один з проявів творчої людської діяльності, те, що називають іноді другою природою (антропогенним світом), вважаючи при цьому першою природою, - природний світ. Ні у кого немає бажання

нехтувати об'єктивними законами природи. А ось в антропогенному світі у людей, що не відають про закони його розвитку, про характер їх дії, виникає спокуса «перескочити» через ці закони. Плачевний досвід деяких спроб вирішення системних питань з ігноруванням принципів системного аналізу, спроби використання «містечкового» підходу достатньо добре відомі для багатьох. Локальні рішення, урахування недостатньої кількості факторів, локальна оптимізація нарівні окремих елементів, майже завжди призводили до неефективного у цілому, а іноді і небезпечному по наслідкам, результату.

### **Системні уявлення на сучасному етапі**

Сьогодні загальна теорія систем є наукою, що вивчає поведінку систем з метою виявлення основних властивостей їх поведінки. Ця теорія призвана визначити та пояснити яким чином з окремих елементів утворюється складна єдність цілого, нова сутність. Перехід від властивостей елементів до властивостей системи представляє найважливішу задачу теорії систем.

Сучасна наука про складні системи розвивається у трьох напрямках:

- створення концептуальних і методологічних основ;
- формування і формалізація нових задач;
- розробка методів і апарату вирішення.

Наочним прикладом цього революційного процесу є бурхлива поява нових галузей знань, нових наукових дисциплін, які виникають на стиках старих, поява комплексних «гібридних» наук, створення нових наук на основі багатосторонніх зв'язків між старими науками, народження нових принципово нових методів і принципів дослідження, котрі дають плідні результати. Такими новими «синтетичними» дисциплінами є фізична хімія, астроботаніка, біохімія, біоні-

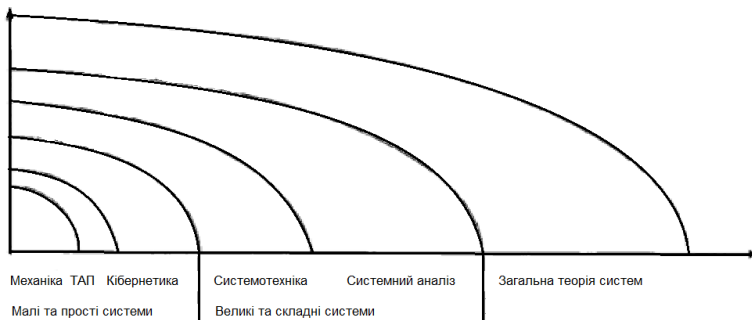
ка (біологічна кібернетика), хімічна фізика, інженерна біологія, нейроінформатика, геонформаційні системи і технології та багато інших.

Синтез різних наук виявився у вищому ступені плідним. Є підстави вважати, що дана тенденція стає найважливішою, бо найбільш великі відкриття нашого часу зроблені на стику різних наук, де народились нові наукові дисципліни і напрямки. Всі ці новотвори – результат спільної дії двох зовні протилежних процесів: диференціації та спеціалізації, розподілу і інтеграції. Тобто, при вирішенні певних проблем відбувається синтез наукових знань, здійснюється комплексний підхід та перенесенням методів і принципів дослідження з однієї області в іншу, взаємопроникнення методів. Інтеграція приводить до висновку, що більшість проблем можуть отримати правильне наукове висвітлення тільки у тому випадку, якщо вони будуть опиратися на різні науки - суспільні, природні та технічні. Щоб дійсно глибоко досліджувати якісь процеси, необхідний синтез, інтеграція висновків конкретних наук і результатів дослідження різних спеціалістів - інженерів, соціологів, філософів, економістів, психологів і т. ін.

*Перша особливість сучасного наукового пізнання – диференціація та інтеграція в розвитку науки.*

*Друга, особливість* полягає в придбанні сучасними науками все більшої строгості і точності. Відомо, що науковий процес нерозривно пов'язаний з використанням математики. Знання в науці про системи можуть бути отримані як знання про класи систем або шляхом моделювання на комп'ютері. Розвиток системних уявлень зображений на рис. 1.6.

*Третя особливість* – сучасна наука розвивається більш динамічно, ніж раніше.



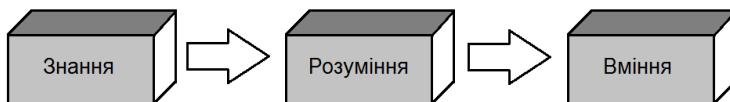
**Рис. 1.6. Схема розвитку системних уявлень**

Четверта особливість – наука орієнтована на знання, уміння і навички, але не на розуміння і творче мислення. Тут більш ефективною буде наступна схема:

Вона акцентує увагу не на тому, щоб знати певний предмет, а щоб розуміти його і оптимально застосувати у своїй професійній діяльності. Без системного підходу не обходиться ні одна сфера високопрофесійної діяльності.

В сучасних підручниках дуже мало уваги приділяється науковим методам, а домінує орієнтація на описові знання. Можна з упевненістю констатувати, що багато помилок в управлінні державою саме викликані тим, що державні службовці і службовці місцевого самоврядування не володіють ні теорією систем, ні системним аналізом [2, 17, 23].

Звідси, можна зробити висновок, що в освіті існує нагальна потреба в оволодінні студентами різноманітних наукових методів, а в першу чергу, системного підходу (рис. 1.7).



**Рис. 1.7. Функціональна схема підготовки майбутніх спеціалістів**



За науковим визначенням, сукупність наукових засобів вивчення того чи іншого об'єкту або явища складає *методологію* пізнання. Тобто, *методологія*. – *це предметно орієнтована сукупність методів та засобів пізнання та світу*. Розглядаючи складні технічні об'єкти, системи, комплекси або певні проблеми, до них повинна застосовуватися і відповідна загальнонаукова (міжгалузєва) методологія, яка була б зручною для вивчення об'єктів та явищ незалежно від їх походження і характеру. Саме такою методологією і є *системна методологія*.

*Системна методологія передбачає дослідження світу як сукупності об'єктів та явищ, різноманітних за своїм походженням та характером розвитку, у певному взаємозв'язку та взаємозалежності*. Це визначення, на інтуїтивному рівні було зрозуміло ще мислителям стародавнього світу. Але наукове визначення системної методології було сформульоване лише у другій половині ХХ століття, у зв'язку з появою й розвитком загальної теорії систем. Відповідно до неї, *цілісна множина об'єктів і явищ, знаходячись у певних стосунках між собою, розглядається як система*. Більш того, зміни, що відбуваються в об'єктах і явищах, вивчаються у *причинно-наслідкових зв'язках з певною сукупністю факторів та умов*. Але це стає можливим лише при умові, коли у процесі дослідження об'єктів та явищ буде застосовуватися взаємопов'язана і взаємодоповнююча сукупність наукових методів.

Системна методологія допомагає комплексно сприймати оточуючий нас світ. Оволодівши системною методологією, будь-який фахівець має можливість мислити системно, тобто, вирішуючи ту чи іншу проблему, розглядати її як певну сукупність задач, результати вирішення яких залежить від певної множини факторів та умов. Наприклад, інженер або менеджер, маючи справу з виробничим процесом, повинен бачити в ньому набір взаємопов'язаних

виробничих операцій, витрати на здійснення яких залежать від багатьох чинників. Врахування їх та умов, що формують об'єм витрат, дозволяють спеціалісту розробити план заходів щодо підвищення прибутковості виробництва.

Таким чином, *системна методологія* – це вчення про структуру, логічну організацію, методи та засоби ефективного пізнання об'єктів та явищ в цілісності і взаємозалежності.

Системна методологія допомагає здійснювати комплексні дослідження в:

- ✓ онтологічному аспекті;
- ✓ гносеологічному аспекті;
- ✓ практичному аспекті.

*Онтологічний* аспект системної методології передбачає визначення загальних засад, принципів буття як філософської категорії.

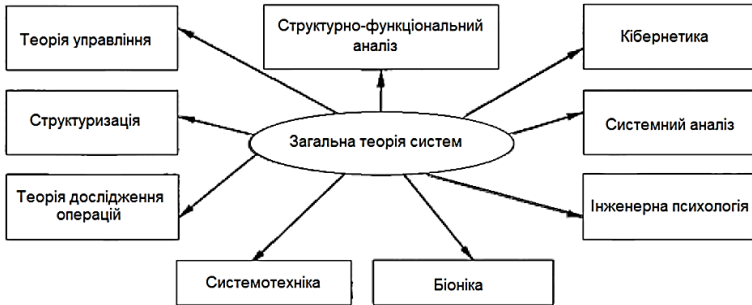
*Гносеологічний* аспект - це напрямок теоретичного пізнання природи, суспільства, науки та техніки, у якому вивчаються загальні передумови пізнання, виявляються умови його достовірності та істинності.

*Практичний* напрямок вивчення об'єктів та явищ передбачає встановлення певних закономірностей, залежностей формування та розвитку об'єктів, систем, явищ, та розробка на їх основі практичних пропозицій щодо їхнього стану.

Перші два аспекти мають відношення головним чином до теоретичного (вірніше філософського) напрямку дослідження об'єктів та явищ. Третій говорить сам за себе – має практичне спрямування і тому широко використовується в різних галузях людської діяльності, і зокрема в інженерній діяльності.

Як відзначалось раніше, основу системної методології складає загальна теорія систем (ЗТС). Вона дала життя низці теоретичних і прикладних наук. На рис. 1.8 показано, що ЗТС сприяла формуванню та розвитку дев'яти сучасним науковим напрямкам. Серед

них є такі, як теорія управління, кібернетика, структурно-функціональний аналіз та системний аналіз, які визначають прогресивний шлях формування сучасних фахівців з економіки та менеджменту. Особливо важливе методологічне спрямування має такий розділ системної методології, як системний аналіз.



**Рис. 1.8. Схема наукових напрямів, пов'язаних із загальною теорією систем**

Системний аналіз (СА) – це особливий тип науково-технічного мистецтва, котрий виникає внаслідок органічної єдності суб'єктивного і об'єктивного, а тому досвідчений аналітик зазвичай досягає значних результатів, а механічне застосування методик і прийомів СА навіть кваліфікованими особами, не дозволяє отримати очікувані або корисні результати. Для успішного застосування, системний аналіз повинен базуватися на певному теоретичному фундаменті. А з іншого боку успішні приклади застосування СА повинні служити прикладами для наслідування. Теоретичне обґрунтування привело до формування таких напрямків системних досліджень, як системна динаміка, евристичне програмування, імітаційне моделювання і т. ін.

На відміну від досить широкої системної методології, системний аналіз обмежують дві наступні особливості:

- системні аналітики вивчають лише штучно створені системи, у яких людині належить надзвичайно важлива, а в багатьох випадках і вирішальна роль;
- головна задача системного аналізу – прийняття рішень і управління.

Таким чином, *системний аналіз* – це сукупність методологічних засобів, використовуваних для підготовки і обґрунтування рішень по складним проблемам політичного, воєнного, спеціального, економічного, науково-технічного характеру.

Системний аналіз відрізняється від інших методів дослідження тим, що він:

- враховує принципову складність об'єкта, що досліджується;
- бере до уваги розгалужені та стійкі взаємні зв'язки з його оточення;
- враховує неможливість спостереження ряду властивостей об'єкта та оточуючого середовища;
- реальні явища, їх властивості та зв'язки з оточенням переводяться далі в абстрактні категорії теорії систем;
- ґрунтуючись на відомих властивостях складних систем, дозволяє виявити нові конкретні властивості та взаємні зв'язки конкретного об'єкта дослідження;
- на відміну від інших методів, у яких точно визначені об'єкти, включає як один з важливих етапів визначення об'єкта, його знаходження або конструювання;
- орієнтується не на розв'язання «правильно сформульованих» задач, а на створення правильної постановки задачі (правильно поставити задачу - це означає на 50% її розв'язати), вибір відповідних методів для її розв'язання;
- основне в СА – знайти шлях, яким можна перетворити складну проблему в простішу, складну як для розв'язання так і для розуміння, перетворити проблему в послідовність задач, для яких існують методи їх розв'язання;

- СА завжди конкретний – завжди має справу з конкретною проблемою, конкретним об'єктом дослідження, є продуктивним тоді, коли застосовується до розв'язання завдань певного типу.

Системний аналіз не протиставляється іншим методам аналізу проблем та прийняття рішень. Новим в ньому є синтез взаємопов'язаного кола понять, методів та прийомів, які раніше використовувались розрізнено при розв'язанні окремих часткових проблем. Цей комплекс системних понять та методів поширюється на нові області - планування та управління. Сила системного аналізу в тому, що він дозволяє розкласти складну проблему на компоненти до постановки конкретних задач, для яких існують методи розв'язання, і з іншого боку, зберігає цілісність цієї проблеми.

**Контрольні питання:**

1. *Дайте визначення системотехніки як науково-технічної дисципліни.*
2. *Наведіть загальну класифікацію систем.*
3. *Які основні визначення системотехніки?*
4. *Які існують типи систем і завдань?*
5. *Дайте характеристику історії розвитку системних уявлень.*
6. *Які особливості розвитку системотехніки на сучасному етапі?*
7. *Надайте характеристику системного аналізу.*

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

### 2.1. Визначення систем та їх елементів

Перед інженером завжди виникають завдання і питання, пов'язані з пошуком (винаходом) нових, більш ефективних конструкторсько-технологічних рішень та, в першу чергу, таких, які перевищують світовий рівень. Такі інженерні завдання виникають при розробці нових машин, приладів, технологічного обладнання і технологій, під час виконання планових робіт з реконструкції та модернізації. Це вимагає обов'язкового володіння креативним підходом на підставі використання сучасних методів інженерної творчості, спеціально підготовленої інформації та обчислювальної техніки.

В даний час в інженерній практиці розроблено більше 100 методів активізації творчості, які можна умовно розділити на дві групи [10,19]:

1) Евристичні методи технічної творчості, за допомогою яких вирішують завдання технічної творчості без використання ЕОМ замість традиційного методу «проб і помилок».

2) Комп'ютерні методи пошукового конструювання, що побудовані на використанні ЕОМ.

Можлива інша класифікація методів, згідно з якою їх можна розділити на п'ять груп:

1. *Системні* (комбінаторні або гібридні), які спрямовані на послідовний перебір всіх можливих варіантів рішення і побудовані на принципах аналізу побудови та особливостей ТЗ;

2. *Асоціативні* (психологічна активізація творчості), які передбачають активізацію генерування ідей шляхом психологічного подолання інерцією мислення і представляють безсистемний пошук рішення завдань;

3. *Програмні* (алгоритмічні), які забезпечують більш або менш цілеспрямований рух до вирішення завдання шляхом виявлення технічних і фізичних протиріч у відомих об'єктах і їх подальше подолання;

4. *Комбіновані*, як об'єднання (або поєднання) перших трьох груп методів;

5. *Спеціалізовані*.

В інженерно-конструкторській діяльності послідовно вирішуються завдання трьох типів:

I - вибір і пошук найбільш ефективного фізичного принципу дії (ФПД);

II - вибір і пошук найбільш раціонального технічного рішення (ТР) при заданому фізичному принципі дії;

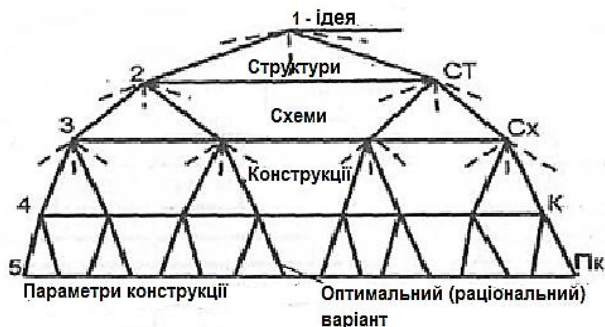
III - визначення оптимальних значень параметрів вказаного ТР. Іншими словами, маємо ланцюжок завдань: ФПД → ТР → ТРopt.

Завдання I і II типів не мають точних математичних рішень і вимагають застосування евричних методів, методів пошукового конструювання, які складають послідовність кроків, процедур і прийомів переробки великого обсягу інформації і не завжди дають найкращі рішення.

Для задач III типу (а останнім часом і II-го) використовують математичні методи оптимізації, які дають точне рішення і застосовують ЕОМ з великим ефектом. *Інженер повинен бути не стільки фахівцем, який перебирає відомі варіанти, скільки дослідником і винахідником нових рішень, творцем і спостерігачем нових ідей.*

Процес оптимального проектування ТЗ, як і прогнозування, є різноманітним (багаторівневим, багатocyклическим, багатокритеріальним, багатоекспериментальним в багатозв'язковій області).

Будь-яка технічна задача має безліч конкретних рішень (рис. 2.1).



**Рис. 2.1. Дерево рішень при створенні ТЗ від ідеї до конструкції**

*Пошук ідей* – найбільш високий рівень творчої діяльності людини і поки ще неформалізований, пов'язаний в основному з інтуїцією людини (але саме сміливі ідеї штовхають вперед науку та техніку). Наприклад, у фантастичній літературі Жюль Верна, Герберта Уелса та Олександра Беляєва близько 90% ідей і фантазій підтвердилися і збулися.

Для систем характерний ряд ознак:

1. Походження (створюється людиною з різного виду обладнання).

2. Ієрархічність (наприклад, для верстата автомата як ТС автоматична лінія є надсистемою I порядку, автоматичний цех - II-го, а завод - автомат - III порядку).

3. Цілісність (неможливість зводити складне до простого, ціле - до частин, наявність в цілісному об'єкті таких властивостей і якостей, які не можуть бути присутніми в його частинах).

4. Зв'язок між елементами.

5. Наявність інтегрованих якостей (наприклад проста сукупність деталей об'єднаних належним чином, не має властивостей верстата).

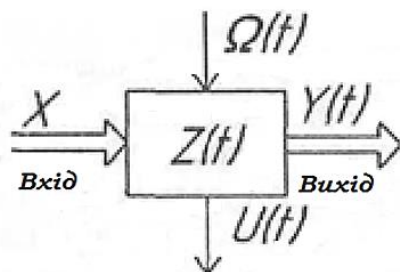
6. Система є напівавтоматичною (частина функцій виконується автоматом, ЕОМ, а частина – людиною).



Сутність системного підходу полягає в тому, що деяка область матеріального світу ділиться на дві частини, одна з яких розглядається як система, а друга - як навколишнє середовище. Без зв'язків з середовищем ТЗ мертва. Наприклад, верстат не може видавати оброблені деталі, якщо нього не надходять заготовки і енергія.

Всі зв'язки ТС із середовищем прийнято розділяти на вхідні змінні  $X$ , керуючі впливом  $U(t)$ , ті, що підбурюють впливу  $Q(t)$  і вихідні змінні  $Y(t)$  (рис. 2.2). Крім того, сама ТС характеризується сукупністю параметрів стану  $Z(t)$ .

Термін *система* використовують в тих випадках, коли хочуть охарактеризувати досліджуваний чи проєктований об'єкт як дещо ціле, складне, про яке неможливо зразу дати уявлення, зображуючи графічно чи описавши математичними формулами.

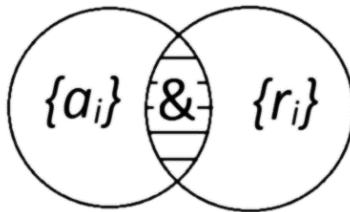


**Рис. 2.2. ТС у графічному вигляді**

Існує декілька десятків визначення цього поняття. Їхній аналіз показує, що визначення поняття *система* змінювалося не тільки за формою, а й за змістом. Розглянемо основні та принципові зміни, які відбувалися з визначенням системи по мірі розвитку теорії систем та використання цього поняття на практиці. В перших визначеннях йшлося про те, що система - це *елементи* (частини, компоненти)  $a_i$  та зв'язки (відношення)  $r_j$  між ними (рис. 2.3).

$$\begin{aligned}
S_{\text{def}} &\equiv \langle A, R \rangle, \text{ де } A = \{a_i\}, R = \{r_j\}; \\
S_{\text{def}} &\equiv \langle \{a_i\}, \{r_j\} \rangle, a_i \in A, r_j \in R; \\
S_{\text{def}} &\equiv \langle \{a_i\} \& \{r_j\} \rangle, a_i \in A, r_j \in R.
\end{aligned}
\tag{2.1}$$

В наведених формалізованих записах визначення використані різні способи теоретико-множинних уявлень: в перших двох – використовуються різні способи завдання множин і не враховуються взаємозв'язки між безліччю елементів та зв'язків; в третьому – відображений той факт, що система це не проста сукупність елементів та зв'язків того чи іншого виду, а включає тільки ті елементи і зв'язки, які знаходяться в області перетину один з одним (рис. 2.3).



**Рис. 2.3. Перетин множин**

Так, Л. фон Бергаланфі визначив систему як «комплекс взаємодіючих компонентів» чи як «сукупність елементів, що знаходяться у визначених відношеннях один з одним та з середовищем».

Якщо відомо, що елементи принципово неоднорідні, то це можна відразу врахувати у визначенні, виділивши різні множини елементів:

$$\begin{aligned}
S_{\text{def}} &= \langle A, B, R \rangle; \\
A &= \{a_i\}, B = \{b_k\}, R = \{r_j\}.
\end{aligned}
\tag{2.2}$$

У визначенні М. Месаровича виділено множину  $X$  вхідних об'єктів (які впливають на систему) і множину  $Y$  вихідних результатів, а між ними встановлено загальне відношення перетину, що можна відобразити як визначення:

$$S \subseteq X \times Y, \quad S \subseteq X \cap Y,$$

або використовуючи інші позначення перетину:

$$S \subseteq X \& Y, \quad S \subseteq X * Y.$$

Якщо якийсь вид відношення  $r_i$  використовується тільки до елементів різних множин і не використовуються всередині кожного з них, то це можна відобразити таким чином:

$$S_{\text{def}} = \{\{a_i, r_j, b_k\}\} \quad a_i \in A, r_j \in R, b_k \in B, \quad (2.3)$$

де  $\{a_i, r_j, b_k\}$  - елементи нової системи, утворені з елементів вихідних множин А і В.

Для уточнення елементів та зв'язків у визначенні включають властивості. Так у визначенні А. Холла властивості (атрибути)  $Q_A$  доповнюють поняття елемента (предмета):

$$S_{\text{def}} = \langle A, Q_A, R \rangle;$$

А.И.Уйомов, визначаючи систему через поняття «речі», «властивості», «відношення», запропонував двоїчні визначення [11], в одному із яких властивості  $q_i$  характеризують елементи (речі)  $a_i$ , а в другому - властивості  $q_j$  характеризують зв'язки (відношення)  $r_j$ :

$$S_{\text{def}} = [\{a_i\} \& \{r_j(q_j)\}], \quad a_i \in A, r_j \in R, q_j \in Q_k;$$

$$S_{\text{def}} = [\{a_i(q_i)\} \& \{r_j\}], \quad a_i \in A, r_j \in R, q_i \in Q_A. \quad (2.4)$$

Потім у визначенні системи з'являється поняття *ціль*. Спочатку – в неявному вигляді: у визначенні Ф. Е. Темнікова «система - організована множина» (в якій ціль з'являється при розкритті поняття організована); в філософському словнику система – «сукупність елементів, які знаходяться у відносинах та зв'язках між собою і утворюють деяку цілісну систему». Потім – у виді кінцевого результату, системоутворюючого критерію, функції, а пізніше – і з явною згадкою про ціль.

Символічно цю групу визначень можна представити таким чином:

$$S_{\text{def}} = \langle A, R, Z \rangle,$$

де  $Z$  – ціль, сукупність чи структура цілей.

В деяких визначеннях уточнюються умови створення цілі – середовище  $SR$ , інтервал часу  $\Delta T$  (період), в рамках якого буде існувати система та її цілі, це зроблено у визначенні В. Н. Сагатовського, яке було покладене в основу однієї з методик структуризації цілей: система «скінчена множина функціональних елементів та відношень між ними, виділена із середовища у відношенні з визначеною ціллю в рамках визначеного часового інтервалу»:

$$S_{\text{def}} = \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle.$$

Далі, у визначення системи, поряд з елементами, зв'язками та цілями, починають включати наглядача  $N$ , який представляє об'єкт чи процес у вигляді системи при їхньому обстеженні або прийнятті рішення:

$$S_{\text{def}} = \langle A, R, Z, N \rangle.$$

На необхідність підрахунку взаємозв'язку між системою та дослідником вказує У. Р. Ешбі. Але перше визначення, в якому в явному виді існує наглядач, дав Ю. І. Черняк: «Система є відображення в свідомості суб'єкта (дослідника, наглядача) властивості об'єктів та їх відносин у вирішенні задачі досліду, пізнання». Тобто:

$$S_{\text{def}} = \langle A, Q_A R, Z, N \rangle.$$

В наступних варіантах цього визначення Ю. І. Черняк став враховувати і мову наглядача  $L_N$  починаючи з цього визначення: «Система є відображенням на мові наглядача (дослідника, конструктора) об'єктів, відносин та їх властивостей у вирішенні задачі дослідів, пізнання»:

$$S_{\text{def}} = \langle A, Q_A R, Z, N, L_N \rangle.$$

У визначеннях системи буває і більша кількість складових, що пов'язано з необхідністю диференціації в конкретних умовах видів елементів, зв'язків і т. д.

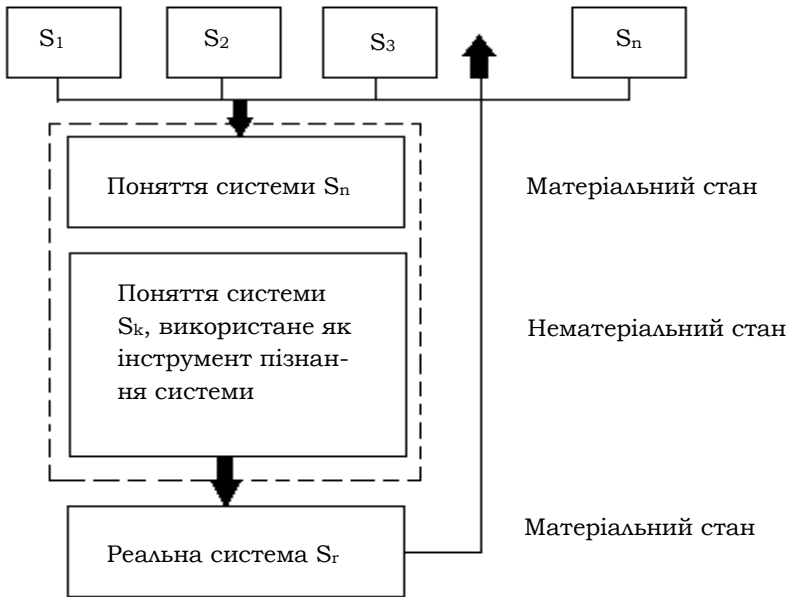
Зіставляючи еволюцію визначення системи (елементи і зв'язки, ціль, спостерігач) і еволюцію використання категорій теорії пізнання у дослідницькій діяльності, можна знайти схожість: спочатку моделі (особливо формальні) базувалися на основі тільки елементів та зв'язків, взаємодій між ними, увага зосереджувалась на цілі, пошуку методів її формалізованого уявлення (цільова функція, критерій функціонування), а, починаючи з 60-х рр.. все більше уваги звертається на спостерігача, який здійснює моделювання або яке проводить експеримент.

*Матеріальна чи нематеріальна система?* До недавнього часу доволі часто виникали дискусії про те, матеріальні чи нематеріальні системи.

З однієї сторони, прагнучи підкреслити матеріальність систем, деякі дослідники у своїх визначеннях змінювали «термін» елемент термінами «річ», «об'єкт», «предмет»; і хоча останні можна трактувати і як абстрактні об'єкти чи предмети дослідження, все ж автори цих визначень явно хотіли звернути увагу на матеріальність системи.

З іншої сторони, у визначенні Ю. І. Черняка, і особливо, у визначенні С. Оптнера, систему можна трактувати тільки як відображення, як те що існує лише в свідомості дослідника, конструктора. Будь-який спеціаліст, який розуміє закономірності теорії відображення, повинен, заперечити: очевидно, що задум потім буде існувати в матеріальному втіленні, а для задач прийняття рішень важливо акцентувати увагу на тому, що поняття системи може бути засобом дослідження проблеми, вирішення задачі. Тим не менше згадувані визначення піддавалися в той період критиці зі сторони прихильників матеріальності систем, особливо філософів.

Наглядно суперечності щодо матеріальної і нематеріальної системи представлена на рис. 2.4.



**Рис. 2.4. Суперечність систем**

Отже, в понятті система об'єктивне і суб'єктивне складають діалектичне єднання, тому слід говорити не про матеріальність чи нематеріальність системи, а про підхід до об'єктів дослідження як до систем, про різні представлення їх на різних стадіях пізнання або створення. Іншими словами, в термін система на різних стадіях її розгляду можна вкладати різні поняття, говорити як про існування системи в різних формах.

Частим випадком виділення системи із середовища є її визначення через входи і виходи, за допомогою яких система спілкується із середовищем. В кібернетиці і теорії систем таке представлення системи називають «Чорною скринею». На цій моделі базувалися початкові визначення системи У. Р. Ешбі.

## 2.2. Основні моделі системотехніки

Для більш визначеної та точної характеристики конструкції системи варто розвивати її моделі, перетворюючи наявні відомості так, щоб в результаті отримати більш зручну форму моделі, включаючи до її додаткові відомості.

*Компоненти «Чорної скрині».* Важливу для людини роль відіграють наочні, образні, візуальні моделі. По-перше, наведене визначення нічого не говорить про внутрішнє влаштування системи. Тому її можна представити у вигляді непрозорої «скрині», виділеної з навколишнього середовища. Підкреслимо, що ця, максимально проста, модель відображає дві наступні важливі властивості системи: цілісність і відокремленість від середовища. По-друге, у визначенні системи опосередковано йдеться про те, що хоча «ящик» і відокремлений, виділений із середовища, але не є повністю від неї ізольованим. Інакше кажучи, система зв'язана із середовищем і за допомогою цих зв'язків впливає на середовище. Ці зв'язки називають виходами системи. Крім того, система є засобом, тому повинні існувати і впливи на неї, такі зв'язки із середовищем, які направлені ззовні, в систему і мають назву – входи системи.

В результаті формується модель системи, яка отримала назву «Чорної скрині» (рис. 2.5). Цю назву образно підкреслює повна відсутність відомостей про внутрішній зміст «скрині»: в цій моделі задаються, фіксуються, перераховуються тільки вхідні та вихідні зв'язки системи з середовищем. Така модель, незважаючи на зовнішню простоту і на відсутність відомостей про вміст системи, часто виявляється корисною.



**Рис. 2.5. Модель «Чорної скрині»**

Намагаючись максимально формалізувати модель «Чорної скрині», ми приходимо до завдання двох множин  $X$  і  $Y$  змінних, але ніяких інших відносин між цими множинами фіксувати не можна (інакше це вже буде не «чорна», а прозора скриня).

Розглянемо принципово важливе питання про імовірну простоту моделі «Чорної скрині». Здавалося б, так просто: перерахувати входи і виходи системи - і модель готова. Але як тільки це потрібно буде зробити для конкретної реальної системи, ми стикаємося з труднощами. Проілюструємо це на прикладах.

*Приклад 1.* Опишемо виходи системи «наручний годинник». Враховуючи, що виходи відповідають конкретизації мети, фіксуємо в якості виходу показник часу в довільний момент. Потім беремо до уваги, що сформульована мета відноситься до всіх годинників, а не тільки до наручного годинника. Щоб розрізнити їх, додаємо наступне: зручність носіння годинника на зап'ясті; тоді з'являється обов'язковість наявності ремінця або браслета, а з ним додається ще один вихід: задоволення вимог санітарії та гігієни і т. п. Далі, представивши собі умови експлуатації го-



динника, можна додати достатню в побутових умовах міцність, пило- та вологонепроникність. Потім, розширивши поняття «умови експлуатації годинника», додамо ще два виходи: достатню для побутових потреб точність; легкість прочитання показань годинника при швидкому погляді на циферблат.

*Приклад 2.* Спробуємо перерахувати входи системи «легковий автомобіль». Виходячи з визначення системи як засобу досягнення мети, зв'яжемо поняття входу з керуючим впливом на систему. Тому відразу ж виділимо в автомобілі в якості входів ті його елементи, які призначені для управління під час руху: кермо, педалі зчеплення, газу і гальма, важіль перемикачів коробки передач, перемикачі сигналізації та освітлення, ручка аварійного та стоянкового гальма. Потім, враховуючи, що регульовальні впливи доводиться здійснювати не тільки під час руху, в список входів автомобіля вносимо регульовальні гвинти, гайки, ексцентрики. Мاستило і заправка є також регулюючими елементами. Тому точки змащення і заправні отвори є входами. Не можна не враховувати входи в буквальному сенсі. Тому додаємо двері салону кришку багажника і капота.

І тут ми починаємо розуміти, що вхідну дію на автомобіль спричиняє не тільки водій, а й пасажир, та саме довкілля. Записуємо в перелік входів вікна і дзеркала, за допомогою яких надходить інформація до водія і пасажирів. Але тоді можна зазначити, що властивості поверхні, по якій рухається автомобіль, також надають вхідного впливу: по-різному доводиться діяти водієві при їзді по асфальту, піску, гравію, у разі ожеледиці, бруду. Додаємо до списку входів механічний вплив ґрунту на колеса.

Однак відмінність між піском та асфальтом для автомобіля суттєво лише тому, що існує поле тяжіння землі.

Разом з тим, ми ще не згадали багато реально існуючих способів впливу середовища на дану систему: ручки склопідйомників, аеродинамічний опір повітря, кнопки радіоприймача або кондиціонера, тощо. Очевидно, що список входів може бути ще продовжений.

Розглянуті приклади свідчать, що побудова моделі «Чорної скрині» не є тривіальним завданням, так як на питання про те, скільки та які саме входи і виходи слід включати в модель, відповідь не проста і не завжди однозначна.

Модель «Чорної скрині» - це структурована модель, в якій про кожний зв'язок з середовищем відомо, чи відноситься він до числа входів або є виходом. Однак на ранніх стадіях дослідження системи така інформація може бути відсутньою. Можливо виділити деякий зв'язок системи з середовищем, можемо навіть спостерігати або вимірювати параметр, що характеризує цей зв'язок, але не мати підстав безумовно говорити про спрямованість цього зв'язку. В таких випадках іноді корисно розглянути дві конкуруючих моделі «Чорної скрині», в одній з яких цей зв'язок зарахований до входів, а в іншій - до виходів. Прикладом є дослідження зв'язків між двома процесами, коли невідомо, який з них - причина, а який - слідство, або навіть чи є їх зв'язок причинно-наслідковим.

Очевидно, що питання, що стосуються внутрішнього устрою системи, неможливо вирішити тільки за допомогою моделі «Чорної скрині». Для цього необхідні більш розвинені, більш детальні моделі.

При детальнішому підході може виявитися необхідність кількісного описання деяких (чи всіх) характеристик входів та виходів. Формалізуючи модель «Чорної скрині», ми отримуємо в результаті дві множини вхідних та вихідних змінних, між якими не зафіксовано ніяких відношень (в іншому випадку

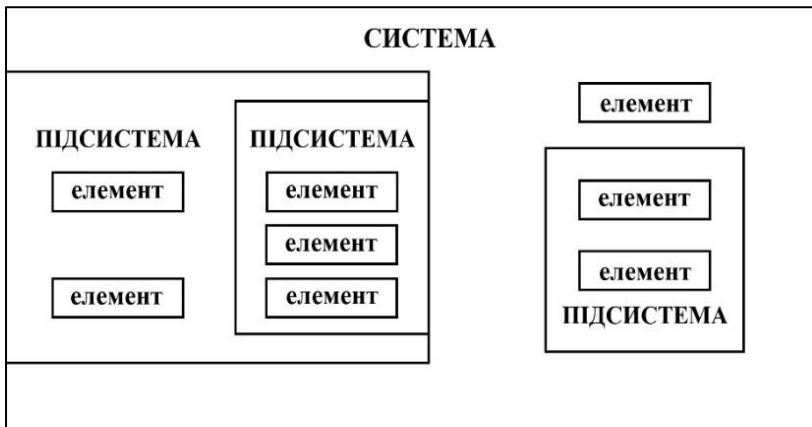
це вже буде «напівпрозора» - «сіра», чи «прозора» скриня). Приклад моделі чорної скрині наведений на рис. 2.6 [28].



**Рис. 2.6. Модель чорної скрині на прикладі системи «Посудомийна машина»**

### **Модель складу системи**

При розгляді будь-якої системи виявляється, що її цілісність і відокремленість, відображені в моделі чорної скрині, виступають як зовнішні властивості. Вміст «скрині» виявляється неоднорідним, що дозволяє розрізняти складові частин самої системи. При більш детальному розгляді деякі частини системи можуть бути, в свою чергу, розбиті на складові частини і т. д. Ті частини системи, які ми розглядаємо як неподільні, називаються елементами. Частин системи, що складаються більш ніж з одного елемента, називаються підсистемами. В результаті виходить модель складу системи, що описує з яких підсистем і елементів вона складається (рис. 2.7).



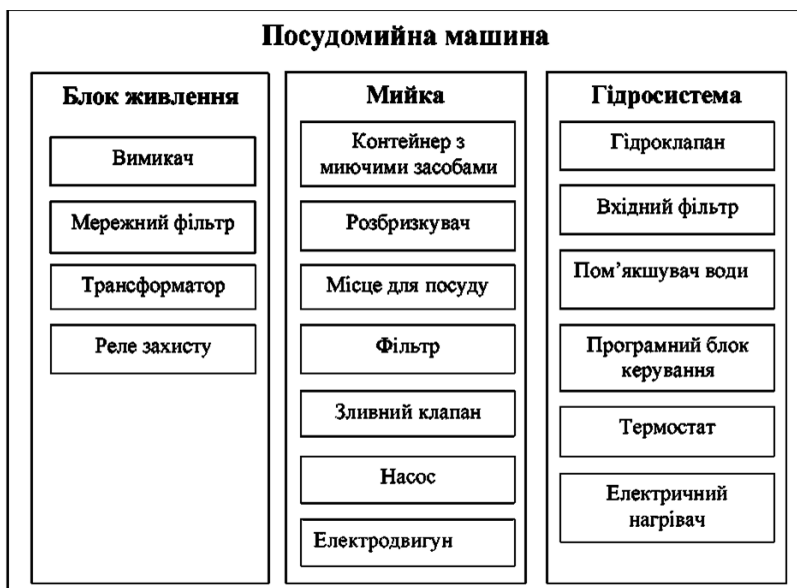
**Рис. 2.7. Модель складу системи**

При дослідженні будь-якої системи перш за все виявляється, що цілісність та відокремленість, відображені у моделі «Чорної скрині», є зовнішніми властивостями. Внутрішність системи не однорідна, що дозволяє розрізняти складові частини системи. Ті частини системи, які вважаються найменшими та неподільними, називаються її *елементами*. Елементи системи вибираються дослідником залежно від мети, яку він ставить при моделюванні та аналізі системи, що входять до опису об'єкту дослідження. Частини системи, які складаються з кількох елементів (більш ніж одного) і мають певну цілісність, називаються *підсистемами*. При необхідності вводять також терміни, які вказують на ієрархію частин (наприклад, підсистема, підсистема деякого рівня, надсистема тощо). Графічна *модель складу системи* відображає всі елементи та ієрархію підсистем. Приклади моделей складу систем наведені в табл. 2.1 та на рис. 2.8.

Таблиця 2.1

**Спрощений приклад моделі складу**

| Система                 | Підсистема           | Елемент                        |
|-------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Супутникове телебачення | Комплекс телепередач | Передаючі телецентри та антени |
|                         | Канал зв'язку        | антени                         |
|                         | Комплекс прийому     | Приймаючі телецентри та антени |



**Рис. 2.8. Модель складу системи на прикладі посудомийної машини**

Важливою характеристикою цілісності системи є її структура – сукупність елементів та зв'язків, які визначають внутрішню будову, організацію об'єкта та цілісної системи. При моделюванні системи дослідник звичайно використовує тільки ті зв'язки й відношення елементів системи, які дають змогу досягти поставленої мети, відкидаючи зайві зв'язки

## **Моделі структури системи**

Незважаючи на корисність розглянутих вище моделей системи, існують проблеми, які вирішити за допомогою таких моделей неможливо. Наприклад, щоб отримати велосипед, недостатньо мати окремі його деталі (хоча склад системи в наявності). Необхідно ще правильно з'єднати всі деталі між собою, або встановити між елементами певні зв'язки – відносини.

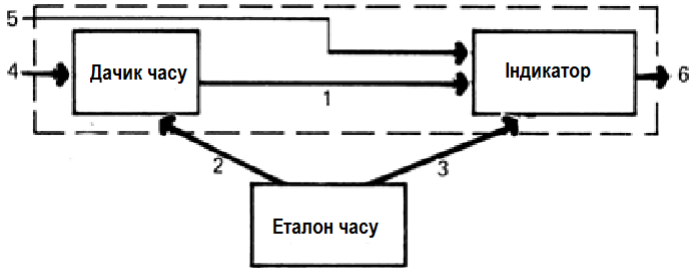
Сукупність необхідних і достатніх для досягнення мети відносин між елементами називається структурою системи.

Коли розглядається певна сукупність об'єктів як система, то з усіх відносин вибираються важливі, тобто істотні для досягнення мети. Точніше, в модель структури (в список відносин) включаються тільки кінцеве число зв'язків, які є істотними по відношенню до даної мети. Наприклад, при розрахунку механізмів не враховуються сили взаємного тяжіння його деталей, хоча, відповідно до закону всесвітнього тяжіння, такі сили об'єктивно існують. Проте вага деталей враховується обов'язково.

## **Структурна схема системи**

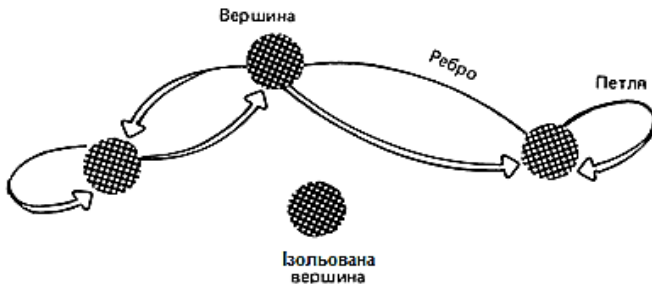
Це визначення охоплює моделі «Чорної скрині», складу і структури. Всі разом вони утворюють ще одну модель, яку будемо називати структурною схемою системи. Структурною схемою зазначено всі елементи системи, всі зв'язки між елементами всередині системи і зв'язки певних елементів з навколишнім середовищем (входи і виходи системи).

*Приклад.* Структурна схема системи «синхронізуючий годинник» приведена на рис. 2.9. Вважаємо, що в склад такої системи входять три елементи: датчик, індикатор, еталон часу. Вхід 4 зображує надходження зовні, вхід 5 відповідає регулюванню індикатора, вихід 6 – показ годинника.



**Рис. 2.9. Структурна схема годинника**

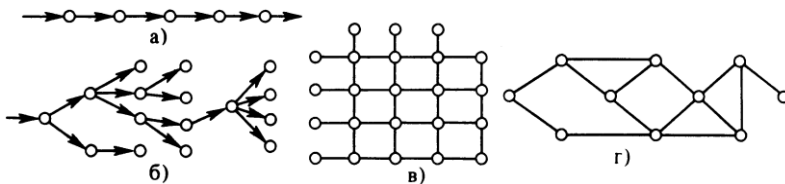
Всі структурні схеми мають спільні ознаки, і це спонукало науковців розглядати їх як особливий об'єкт математичних досліджень. Для цього довелося абстрагуватися від змістовної сторони структурних схем, залишивши в розглянутій моделі тільки спільне для кожної із схем. В результаті вийшла схема, в якій позначається тільки наявність елементів і зв'язків між ними, а також різниця між елементами і між зв'язками. Така схема називається графом (рис. 2.10). Граф складається з позначень елементів довільної природи, що називаються вершинами, і позначень зв'язків між ними, названих ребрами.



**Рис. 2.10. Приклад графа**

Графи можуть зображати будь-які структури, якщо не накладати обмежень на перетин ребер. Деякі типи структур мають особливості, важливі для прак-

тики, вони виділені з інших і отримали спеціальні назви. Так, в організаційних системах часто зустрічаються лінійні, деревоподібні (ієрархічні) і матричні структури; в технічних системах частіше зустрічаються мережеві структури (рис. 2.11); особливе місце в теорії систем займають структури з зворотними зв'язками, які відповідають кільцевим шляхам в орієнтованих графах.



**Рис. 2.11. Графи, відповідні різним структурам:**  
**а) лінійна структура; б) деревоподібна структура; в) матрична структура;**  
**г) мережева структура**

### **Динамічні моделі систем**

Наступний крок у дослідженні систем полягає в тому, щоб зрозуміти і описати, як система «працює», що відбувається з нею самою, і з навколишнім середовищем в ході реалізації поставленої мети. Очевидно, і підхід до опису, і ступінь подробности опису процесів, що відбуваються можуть бути різноманітними. Однак загальним при цьому є те, що моделі, які розробляються, повинні відображати поведінку систем, описувати зміни, що відбуваються з плином часу, послідовність якихось етапів, операцій, дій, причинно-наслідкові зв'язки. Системи, в яких відбуваються будь-які зміни з часом, називаються динамічними, а моделі, які відображатимуть ці зміни - *динамічними моделями систем*.

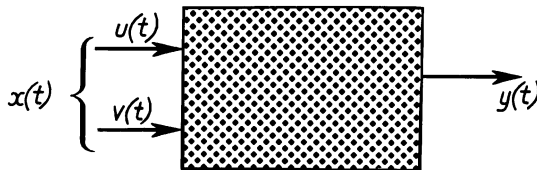
Для різних об'єктів і систем розроблено велику кількість динамічних моделей, що описують процеси з різним ступенем детальності: від самого загального



поняття динаміки, руху загалом, до формальних математичних моделей конкретних процесів типу рівнянь руху в механіці або хвильових рівнянь в теорії поля. Однак цей шлях конкретизації моделей непростий і нелегкий і для багатьох систем ще не закінчений через недостатність наявних знань.

При математичному моделюванні деякого процесу його конкретна реалізація описується у вигляді відповідності між елементами безлічі  $X$  можливих «значень»  $x$  та елементів упорядкованої множини  $T$  «моментів часу»  $t$ , тобто у вигляді відображення  $T \rightarrow X$ ;  $x(t) \rightarrow XT$ ,  $T \rightarrow t$ . За допомогою цих понять можна будувати математичні моделі систем.

Розглядаючи вихід  $y(t)$  системи (це може бути вектор) як її реакцію на керовані  $u(t)$  і некеровані  $v(t)$  входи  $x(t) = \{u(t), v(t)\}$  (рис. 21), можна модель «Чорної скрині» представити як сукупність двох процесів:  $XT = \{x(t)\}$  і  $YT = \{y(t)\}$ ,  $t \rightarrow T$ . Якщо навіть вважати  $y(t)$  результатом деякого перетворення процесу  $X(T)$ , тобто  $y(t) = f(x(t))$ , то модель «Чорної скрині» припускає, що це перетворення невідоме. В тому ж випадку, коли ми маємо справу з «білою скринькою», відповідність між входом і виходом можна описати тим чи іншим способом. Який саме спосіб – залежить від того, що нам відомо, і в якій формі можна використовувати ці знання.



**Рис. 2.12. Динамічна модель «Чорної скрині»**

Наприклад, іноді буває відомо, що система миттєво перетворює вхід у вихід, тобто що  $y(t)$  є функцією тільки  $x(t)$  в той же момент часу. Залишається задати або знайти цю функцію.

## Загальна математична модель динаміки

За основу математичної моделі технічної системи можна прийняти потік енергії між зовнішнім середовищем і системою з урахуванням, що слово «енергія» не можна замінити іншим, тому що в дійсному випадку воно може означати параметри, сигнали, інформаційні потоки, матеріальні засоби тощо. Таким чином, технічні системи доцільно характеризувати на основі теорії потоку.

Якщо  $X$  означає змінну стану,  $U$  - вхідні,  $Y$  - вихідні, а  $K$  кількості енергії, що з'явилась і витрачено в системі тоді отримаємо схематичне зображення технічної системи, подане на рис. 2.13.

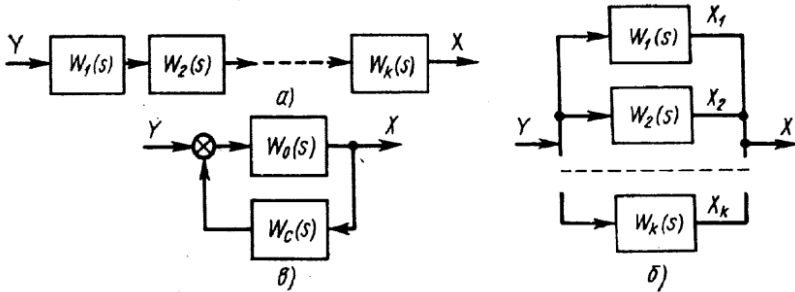


Рис. 2.13. Структурні схеми ланцюгів

Опис роботи системи згідно теорії потоку, можна дати рівняннями балансу щодо змінних стану. Інтегральне рівняння балансу для будь-якого досліджуваного інтервалу часу  $(t_0, t_N)$ :

$$X(t_N) = X(t_0) + U(t_0, t_N) - Y(t_0, t_N) \pm K(t_0, t_N).$$

При визначенні ефективності роботи технічних систем, з'єднавши ланки, в залежності від напрямку прямування потоків енергії, можна скласти математичну модель усього технічного пристрою, або інших його елементів. При цьому можливі три засоби з'єднання динамічних ланок: послідовний, паралельний і зворотній зв'язок.

Передатна функція  $W(s)$  ланцюга, що складається з ланок, сполучених послідовно, дорівнює добутку передатних функцій цих ланок:

$$W(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) \dots W_k(s).$$

Передатна функція  $W(s)$  ланцюга, що складається з ланок, сполучених паралельно, дорівнює сумі передатних функцій цих ланок:

$$W(s) = W_1(s) + W_2(s) + \dots + W_k(s).$$

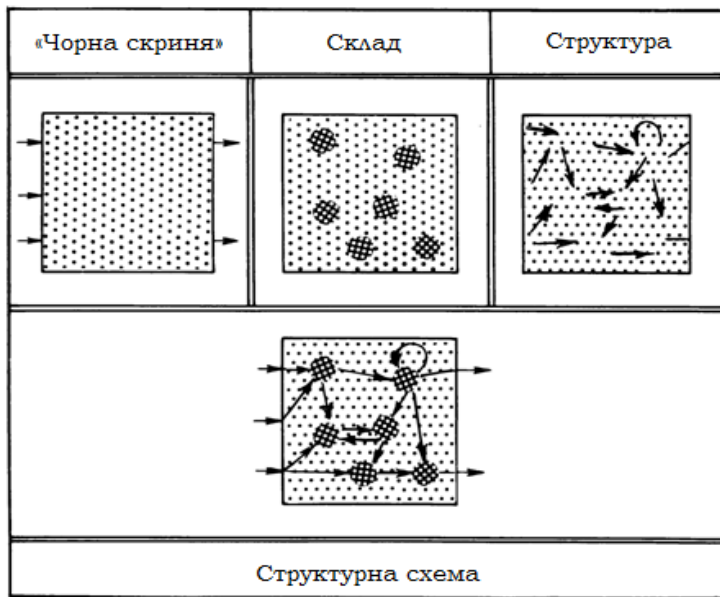
При з'єднанні ланок зворотного зв'язку, коли в ланцюзі прямого зв'язку знаходиться ланка, що має передатну функцію  $W_0(s)$ , а в ланцюзі зворотного зв'язку - ланка, передатна функція якої є  $W_c(s)$ , шукана передатна функція ланцюга визначається співвідношенням:

$$W(s) = \frac{W_0(s)}{1 \pm W_0(s) \cdot W_c(s)},$$

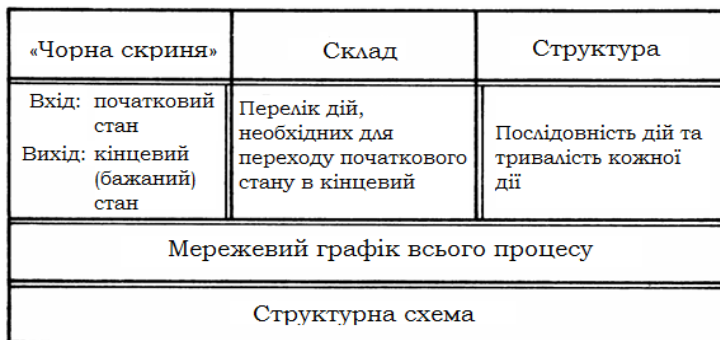
де знак плюс відповідає негативному зворотному зв'язку, а мінус – позитивному.

Виявляється, що при всьому неймовірному різноманітті реальних принципово різних типів моделей систем дуже небагато: модель типу «чорна скриня», модель складу, модель структури, а також їх розумні поєднання та, перш за все, об'єднання всіх трьох моделей, тобто структурна схема системи. Це відноситься як до статичної моделі, що відображає фіксований стан системи (рис. 2.14, а), так і до динамічної моделі, що відображає характер тимчасових процесів, що відбуваються в системі (рис. 2.14, б).

Рисунок 2.14 ілюструє спільність типів статичних і динамічних моделей. Можна сказати, що структурна схема («біла скриня») виходить як результат «підсумовування» моделей «чорної скрині», складу та структури системи.



а)



б)

**Рис. 2.14. Поєднання моделей технічних систем**

### **Функціонування та розвиток**

Вже на етапі «Чорної скрині» розрізняють два типи динаміки системи: її функціонування і розвиток. Під функціонуванням мають на увазі процеси, що відбуваються у системі. Розвитком називають те, що відбувається з системою при зміні її цілей. Характер-

ною рисою розвитку є той факт, що існуюча структура перестає відповідати новій меті, і для забезпечення нової функції доводиться змінювати структуру, а іноді і склад системи, перебудовувати всю систему.

Але система не завжди знаходиться в фазі розвитку, або в стані функціонування. Так, при реконструкції одного цеху решта функціонує, завод в цілому розвивається. Навіть при докорінній перебудові системи якісь елементи і, навіть, підсистеми старої структури можуть продовжувати функціонувати як і раніше. Можливі й такі системи, для функціонування яких деякі її підсистеми повинні бути постійно в розвитку.

Наступний крок у побудові динамічних моделей полягає в тому, щоб більш конкретно відобразити зміни, що відбуваються. Це означає, що слід розрізняти частини, етапи того, що процес відбувається, розглядати їх у взаємозв'язку. Іншими словами, типи динамічних моделей такі ж, як і статичних, тільки елементи цих моделей мають тимчасовий характер.

Всі зазначені типи моделей є формальними, що відносяться до будь-яких систем і не відносяться до жодної конкретної системи. Щоб отримати модель заданої системи, потрібно надати формальній моделі конкретного змісту, тобто вирішити, які аспекти реальної системи включати як елементи моделі обраного типу, а які - ні, вважаючи їх несуттєвими.

### **Ієрархія опису технічних систем та їх класифікація**

Розвиток знань пов'язаний з підвищенням складності принципів підходів до дослідження та його методів, котрі складають наступну ієрархічну послідовність наукового опису технічних систем:

1. *Параметричний* - опис властивостей, ознак та відношень об'єкту на підставі емпіричних спостережень. Це найбільш проста форма і вихідний рівень дослідження об'єкту.

2. *Морфологічний* - перехід до визначення поелементного складу, побудови об'єкту та взаємовідносин параметрів, які виявлені на попередньому рівні.

3. *Функціональний* - перехід до визначення функціональної залежності між параметрами (функціонально-параметричний опис), між елементами об'єкту (функціонально-морфологічний опис) або між параметрами і побудовою об'єкту.

4. *Фізичний* (поведінка об'єкту) - виявлення цілісної картини «життя» об'єкту і механізмів, які забезпечують зміну напрямків та «режимів» роботи об'єкту (найбільш складна форма наукового дослідження).

Наприклад: *параметричний опис* металорізального верстату, як технічної системи, це: основні технічні характеристики (*технологічні, розмірні, кінематичні, силові, динамічні*) та показники (*продуктивність, точність, жорсткість, потужність, габарити* тощо).

*Морфологічний опис* верстату може включати: *джерело енергії, двигуни, передавально-перетворюючі та виконавчі механізми, систему керування.*

*Функціонально-параметричний опис* встановлює, наприклад, залежність точності обробки від жорсткості пружної системи верстату та режимів різання. Прикладом функціонально-морфологічного опису служить рівняння балансу кінематичного ланцюга.

### **2.3. Закономірності розвитку і еволюції технічних систем**

*Технічний рівень* – це сукупність технічних властивостей параметрів, які визначають сукупну цінність виробу.

З розвитком техніки підвищується *технічний рівень машин*, змінюються виконувані ними функції та удосконалюється принцип їх конструювання. З точки зору морального зношування машина, як технічна система, має певні *«цикли життя»* у сферах виробництва та експлуатації, що має вплив на її рентабель-

ність (досягнутий прибуток). З появою нової конкурентоздатної машини збут швидко зростає, досягає максимуму і по мірі насичення споживчого ринку починає скорочуватись. Аналогічно змінюється прибуток підприємства-виробника. Максимум збуту і прибутку, як правило, не співпадають за часом внаслідок інерції виробництва. Таким чином, технічний рівень виробів і технічних систем з часом підвищується завдяки впровадженню винаходів.

У сфері експлуатації типовий «цикл життя» машини визначається різницею між прибутком, який створюється у споживача, і експлуатаційними витратами. Опис розвитку технічних систем описується законами: «статіки» (початок життя), «кінематики» (розвиток) і «динаміки» (головні тенденції розвитку в теперішній час).

*Закони статіки:*

- 1) «повнота частин» - наявність і мінімальна працездатність основних частин технічних систем;
- 2) «енергетична провідність» - наскрізний прохід енергії всіма частинами технічних систем;
- 3) походження «ритміки» частин - частоти коливань, періодичності роботи усіх частин.

*Закони кінематики:*

- 1) «підвищення ступеню ідеальності» - витрати на виготовлення та функціонування технічних систем прямують до нуля, хоча працездатність її не зменшується;
- 2) «нерівномірність розвитку частин» (чим складніша технічних систем, тим нерівномірнішим є її розвиток);
- 3) «перехід у надсистему» - вичерпавши можливості розвитку, система включається в надсистему, як одна з частин.

*Закони динаміки:*

- 1) перехід з макрорівня на мікрорівень;
- 2) підвищення ступеня вепольності - зростання кількості елементів і зв'язків між ними.

Головна рушійна сила розвитку технічних систем - усунення протиріччя між зростаючими потребами суспільства і можливостями теперішніх технічних систем. Діалектика розвитку технічних систем полягає в тому, що в новому об'єкті поєднуються нові та відомі технічні рішення. Так, на початку розвитку металорізальні верстати мали рухи від загального приводу за допомогою трансмісійних валів (складність керування, низька продуктивність, висока небезпека). Потім з'явилися верстати з індивідуальним приводом від електродвигуна через зубчасті передачі. Тенденція розвитку сучасних верстатів - забезпечення кожного вузла власним приводом у вигляді, наприклад: *крокового електродвигуна, високомоментного двигуна*, тощо.

Подальший розвиток технічних систем вимагав подолання протиріч між високою продуктивністю процесу різання і великими витратами часу на виконання холостих рухів і допоміжних операцій. Приводи не забезпечували необхідну точність позиціонування універсальних верстатів під час роботи в автоматичному режимі. При цьому в системах керування для досягнення високої точності використовувались дискретні сигнали, а у приводах аналогові сигнали не дозволяли одержати достатню точність. Ці протиріччя привели до появи нового класу високоточних приводів, які керуються від пристроїв ЧПК (числового програмного керування). Прикладом може бути привод, який включає кроковий електродвигун, гідравлічний підсилювач, гидродвигун та безлюфтову кулькову гвинтову пару.

При розгляді технічних систем треба визначити такі ключові характеристики, як *призначення, спосіб дії та структуру*.

*Призначенням технічних систем* - є виконання певного впливу в технічному процесі.

Причинний ланцюжок з перетворенням наслідку (виходів) у причини (входи) наступних операцій характеризує *спосіб дії* (спосіб функціонування) технічних систем.



*Структура* технічних систем поділяється на структурні елементи і групи в залежності від прийнятої точки зору (наприклад, складання або функціонування). *Структурні елементи і групи* знаходяться між собою в певних геометричних, механічних, енергетичних та інших відношеннях. Таким чином всяка технічна система може бути розділена на підсистеми, що свідчить про її ієрархічність (ступінчастість).

З точки зору основної комбінаторної концепції технічних систем можна зобразити (графічно) у вигляді дерева блоків накладанням один на одного різних ознак розчленування - факторів, через котрі доводиться по різному ділити об'єкт (технічна система) на частини. Розчленування можуть бути функціональними, технологічними та іншими. Технічну систему можна зобразити графічно у вигляді дерева ознак побудови об'єкту або у вигляді списку ієрархії специфікації.

Для систематизації тієї чи іншої предметної області зручно застосовувати бази даних, в будь-яке місце котрих можна легко вставити нову інформацію, знайти потрібну, виключити її, тощо. Цю властивість використовують в процесі проєктування технічних систем при обробці великих масивів з побудовою *комбінаторного файлу списку* лексикографічних упорядкованих записів.

Таким чином, комбінаторний файл – це спискова структура, в котрій враховані її альтернативи і комбінації ознак будови; він описує деяке сімейство об'єктів в цілому і жодного об'єкту окремо.

Сукупності, з котрими має справу конструктор, суттєво *комбінаторні*, тобто перехід супроводжується швидким зростанням кількості можливих варіантів. Якщо кожну з  $K$  деталей верстату виробляти одним з  $N$  матеріалів, то кількість різних комбінацій буде  $N^K$ . Структуру технічних систем можна уявити на різних рівнях абстрагування, а саме, як: а) *функціональну*; б) *органоструктуру*; в) *конструктивну схему*.

Можливості символічного уявлення технічних систем не вичерпуються цими трьома структурами, їх може бути більше. Взаємозв'язки між розглядуваними структурами технічних систем легко зрозуміти, використовуючи відношення «*мета-засіб*». З цієї точки зору призначення технічних систем (як *мета*) забезпечується певною функціональною структурою (як *засіб*); ця функціональна структура (як *мета*) може бути реалізована різними органоструктурами (як *засіб*); органоструктури (як *мета*) можуть бути реалізовані різними конструктивними схемами (як *засіб*).

Всі зовнішні дії технічних систем відносяться до активних (крім сторонніх впливів середовища), які називають *завадами*. Кожному впливу на технічну систему відповідає дія технічної системи (за принципом «вплив-реакція») - випадок «чорної скрині».

*Функціональна структура* технічних систем визначається як упорядкована сукупність функцій і відношень між ними і будується стосовно до її робочого стану.

*Технічна функція* - це здатність технічних систем при певних умовах перетворювати вхідну величину в потрібну вихідну величину при забезпеченні чіткої відповідності залежної вихідної величини від незалежної вхідної.

Серед технічних функцій (для яких основні три можливі характеристики – *складність, ступінь абстрактності, призначення*) треба вирізнити таке:

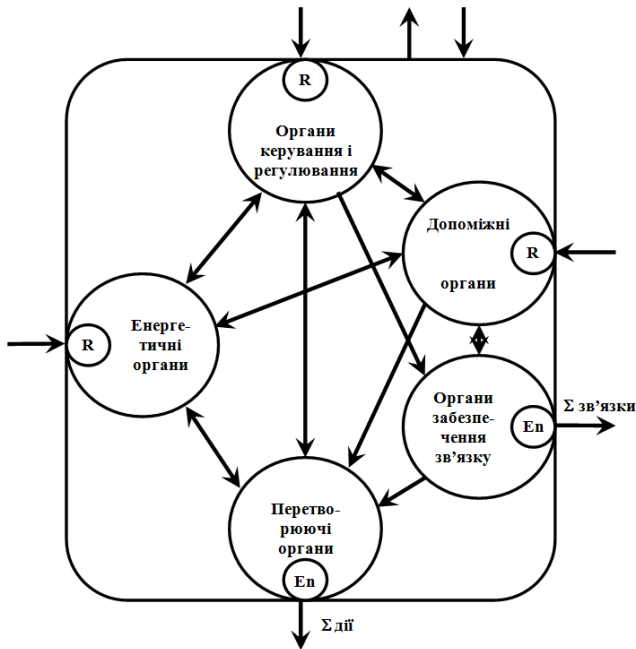
– *логічна функція*, яка перетворює одну або дві незалежні змінні величини в залежні, котрі можуть приймати тільки два значення (наприклад, 0,1);

– *узагальнена елементарна функція*, яка створюється при об'єднанні операцій загального характеру (накопичення, передача, перетворення) з об'єктами таких узагальнених категорій як людина, матерія, енергія та інформація;

- нормативна елементарна функція, яка відповідає операціям об'єднання, розподілу та керування;
- фізична елементарна функція відповідно до 12 основних фізичних операцій: випускати, відділяти, збирати (складати), підганяти, перетворювати, помножити, направляти, з'єднувати, підключати, змінювати напрямом, встановлювати, ховати (зберігати).

Органоструктура - це абстрактна модель технічних систем, яка містить технічні засоби (виконавчі органи) і відношення, які реалізують способи дії певного класу.

Окремі виконавчі органи можна об'єднати по їх відношенню до перетворень і отримати структуру більш високого рівня - органоструктуру перетворень (рис. 2.15), подібну сукупності функцій технічних систем.



**Рис. 2.15. Органоструктура перетворень**

Виконавчі органи (органоструктура) конкретизуються у вигляді конструктивних елементів (конструктивних схем). Конструктивна схема втілює (у загальному вигляді) усі потрібні властивості та ознаки технічних систем. Органоструктура може бути реалізована різними конструктивними схемами, в яких можуть існувати три типи відношень [10, 19]:

- просторові (визначаються розміщенням елементів технічних систем в просторі);
- механічні (зв'язки окремих елементів) характеризуються ступенями вільності;
- енергетичні, які задаються, зокрема, силовим взаємовпливом між деталями (наприклад, створення сили обертанням гвинта).

*Конструктивна схема* визначається не тільки типом впливу, способом дії та властивостями, котрі вона повинна реалізовувати, але також і принципом її побудови. Типовим є, наприклад, модульний принцип побудови, котрий позитивно зарекомендував себе не тільки при проектуванні, але також при виготовленні та використанні технічних систем. Часто комбінують різні принципи, що дозволяє залучати їх переваги і виключити недоліки.

*Параметри і показники* характеризують ступінь виконання функцій або ступінь функціонування технічних систем. Наприклад, головна функція компресора - «стискати газ», але можуть бути різні кінцеві тиски газу, кількість підведеного газу в одиницю часу, види газів, тобто різні ступені функціонування. Особливістю параметрів і показників є можливість їх безпосереднього кількісного вираження.

*Параметри* (більш загальне поняття, ніж показники) - це комплексні характеристики технічних систем і їх можна виразити через один або декілька показників, котрі для машин прийнято звати *техніко-економічними*. Наприклад, *геометричний параметр* можна виразити через такі показники, як довжина, висота, ширина, глибина, діаметр та ін., *параметр*

маси - через показники абсолютної та питомої маси, тощо. Одними з основних для машин є показники, які характеризують їх призначення: продуктивність, швидкість роботи, тиск та ін.

Однією з найважливіших властивостей машин, які характеризують ступінь їх корисності, є якість. До якісних характеристик ТС відносять такі їх властивості, як: надійність, технологічність, ергономіка, естетика, екологічність, транспортабельність, придатність до упаковки в експлуатації, тощо.

Термін «технічна система» визначено як узагальнюючий для широкого кола пристроїв, створених і створюваних людиною та іншими технічними системами, з метою задоволення різноманітних суспільних потреб. Технічні системи застосовуються у всіх сферах людської життєдіяльності; через те класифікація технічних систем як система упорядкування різних машин, механізмів та пристроїв, має надзвичайно важливе методологічне та практичне значення.

Технічні системи можуть бути класифіковані за широким спектром ознак:

- за функцією (технічні системи для формоутворення, обертання, підйому) і типом перетворюваних об'єктів (матерії, енергії, інформації);

- за принципом здійснення робочої дії (технічні системи, що засновані на механічному, гідравлічному, електронному та інших принципах) та характером функціонування (швидкісні, імпульсні, потужнісні);

- за рівнем складності (конструктивні елементи, вузли, машини), ступенями конструктивної складності (деталі прості, складніші, складні, дуже складні, надзвичайно складні) та ступенями оригінальності (запозичені, модифіковані, оригінальні технічні системи);

- за способом виготовлення (технічні системи, виготовлені шляхом різання, лиття, штампування) та за іншими ознаками, що пов'язані з виготовленням - матеріалом, формою, типом виробництва, фірмою-виробником;

- за типом виробництва (в умовах одиничного, серійного та масового виробництва);
- за місцем в технічному процесі, за експлуатаційними властивостями, зовнішнім виглядом, техніко-економічними характеристиками і т. п.;
- за ступенем абстрактності.

Одна і та ж технічна система може належати одночасно до декількох класів.

Як правило, назви технічних систем вибирають у відповідності із їх функціями. Виходячи із цього ж принципу складають номенклатуру виробів, промислові і торгівельні каталоги, оглядові таблиці. Вузли і деталі машин як технічних систем теж класифікують за функціональною придатністю, тобто за конструктивно-функціональною ознакою, яка є однією з основних при запозиченні технічної системи, уніфікації, стандартизації, типізації елементів і груп.

Через значну різноманітність надзвичайно важко, й практично неможливо скласти повну і вичерпну конструктивно-функціональну класифікацію технічних систем, що використовуються в різних галузях. Проте очевидно, що для конкретного підприємства доцільно проводити таку класифікацію для множини елементів і вузлів, які виконують одну певну функцію, таких як кріпильні деталі, редуктори, муфти, гідравлічні та пневматичні прилади і т.п.

При розробці класифікації деталей, вузлів та машин варто прагнути до простоти умовних позначень. Зокрема, рекомендується застосовувати трьох, чотиризначне маркування. Розвиває класифікацію технічних систем за функціональною ознакою класифікація за принципом дії. Адже для конструктора надзвичайно важливо диференціювати однофункціональні ТС за якоюсь важливою додатковою ознакою, а саме - за принципом дії.

Як приклад, можна привести механічні передачі, їх можна згрупувати у передачі тертям та передачі зчепленням. У свою чергу, передачі тертям можуть

бути безпосереднього дотику (фрикційні) та з гнучким зв'язком (пасові). Механічні передачі, здійснювані за допомогою зачеплення теж можна класифікувати як передачі безпосереднього дотику (зубчасті, гвинтові, черв'ячні, глобоїдні, гвинт-гайка) та передачі з гнучким зв'язком (з зубчастим пасом, ланцюгові). Такого роду ознаки технічні системи переважно стосуються функціонально зумовлених властивостей і мають велике значення для методичної роботи конструктора.

Особливості розробки технічних систем, їх проектування пов'язані із блочно-ієрархічним підходом до побудови технічних систем. При цьому будь-яка технічна система розглядається як система, яка складається із підсистем.

Цим зумовлена класифікація технічних систем за ієрархічними рівнями складності. На більш високих рівнях складності можна розрізнити додатково і проміжні рівні. Зазначена ієрархія є відносною, адже одна і та ж технічна система більш низького рівня в одній системі розглядається як підгрупа, а в іншій системі - як група чи машина (підсистема). З врахуванням зв'язків між рівнями складності технічних систем в найбільш узагальненому плані технічні системи можна представити деревом з відповідними ієрархічними рівнями: *технічна система – машина – група – підгрупа - елемент*. Класифікація технічних систем за рівнями складності має надзвичайно важливе значення в силу того, що рівень складності технічних систем визначає ступінь складності технічного рішення, яке розробляє конструктор, окреслює певні межі спеціалізації інженера; допомагає йому узгоджувати свою діяльність як з вищими, так і з нижчими рівнями. Відповідно структурованою є також існуюча система конструкторсько-технологічної документації.

*Технічні системи* можна також класифікувати з точки зору *конструктивної складності* навіть в межах одного і того ж, наприклад, рівня складності (III).

При плануванні конструкторської роботи ступінь конструктивної складності розроблюваної технічної системи служить критерієм для встановлення певних хронологічних рамок інженерної праці.

Деталі машин також можна класифікувати в залежності від *ступеню складності їх конструкції*. Критеріями оцінки ступеню конструктивної складності служать: *ступінь оригінальності конструкції; складність виконуваних функцій, форм; складність розрахунків; технологічні параметри виготовлення та інші*.

Важливою є класифікація технічних систем за *ступенем оригінальності конструкції*.

Для виконання необхідної функції вже можуть існувати декілька систем. Серед них слід вибрати ті, які найбільш підходять до заданих умов. До категорії *запозичених* технічних систем в першу чергу відносять уніфіковані елементи і групи (болти, вентилі, пружини), а також - неуніфіковані, які можуть бути запозичені із інших конструкцій.

*Допрацьовані технічні системи* передбачають додаткову доробку вибраної технічної системи без зміни структури технічних систем і найважливіших властивостей елементів з метою пристосування до особливих умов і вимог нової задачі.

В *модифікованих технічних системах*, як правило, не змінюють лише функцію, деякі параметри і при можливості - принцип дії. Удосконалюють форму, розміри, технологію виготовлення технічних систем, часто змінюють структуру і конструктивну схему.

Найбільш оригінальними є *нові технічні системи*, які представляють собою об'єкти з новим принципом дії та іншими технічними властивостями. Такі системи розробляють, коли для виконання бажаної функції неможливо використати існуючі технічні системи через недоліки принципового характеру, або ж подібні системи взагалі відсутні.



При виготовленні певних груп технічних систем використовується однотипне технологічне обладнання. Деталі машин теж можна об'єднати в технологічні групи за принципом схожості технологічних операцій виготовлення. Найбільш важливою є така класифікація при здійсненні організації та підготовки виробництва та його плануванні. На тих же принципах базується групова технологія обробки.

#### **2.4. Критерії ефективності та властивості технічних систем**

Для оцінки економічності конструкції з точки зору її виготовлення важливою є класифікація елементів технічних систем *за ступенем стандартизації і походженням*. Використовуючи ці категорії, можна прогнозувати доцільність і масштаби виробництва технічних систем в рамках даного підприємства. Зокрема загальна кількість конструктивних елементів технічних систем [10,19]:

$$ЗКЕ = \sum_{i=1}^n (n_{ВА} + n_{ПОСТ}) + (n_{ОТ} + n_{ПО}) + n_3 + (n_{ТН} + n_{ПТН}) + (n_С + n_{ПСЕ}),$$

де  $n_{ВА}$  і  $n_{ПОСТ}$  - відповідно кількість елементів власного виробництва і тих, що постачаються;  $n_О$  і  $n_{ПО}$  - кількість оригінальних елементів власного виробництва і тих, що постачаються;  $n_3$  - кількість запозичених елементів;  $n_{ТН}$  і  $n_{ПТН}$  - кількість типізованих і нормалізованих елементів;  $n_С$  і  $n_{ПС}$  - кількість стандартизованих власних елементів і тих, що постачаються.

З економічної точки зору  $n_О$  і  $n_{ПО}$  повинні бути якомога меншими, бо вони визначають вимоги до конструкторської і технологічної підготовки. В безпосередньому зв'язку з цим знаходиться класифікація технічних систем *за типом виробництва*.

Найбільш високі вимоги до конструктора висувають технічних систем одиничного виробництва. Вартість кожної виготовленої системи значно зростає. Тех-

нічні системи серійного і масового виробництва краще опрацьовані з точки зору виробництва. Доля конструкторських витрат стосовно до загальних витрат невелика. Вказані категорії технічних систем формують основу для визначення можливої якості виробів.

Класифікація за ступенем *абстрактності* розвиває систему класифікації за ієрархічними ознаками. Для цього використовуються позначення системних категорій за ступенем *споріднення* і за *морфологічними ознаками*, такими як: *клас, група, сімейство, тип, рід, вид* і т.п. Така класифікація може бути представлена як сукупність ієрархічних структур технічних систем в різних галузях людської діяльності. Зокрема, для машинних систем на різному рівні абстрагування можна запропонувати багаторівневу структуру.

*Властивість* слід детермінувати як *ознаку* технічних систем. Ознакою може служити, наприклад, здатність поводити себе певним чином або задовольняти певній вимозі. Через ті чи інші властивості дається характеристика технічних систем. При цьому для об'єктивного аналізу важливо, щоб оцінювані властивості і критерії оцінки могли бути визначені кількісно.

Найважливіше, що характеризує технічних систем, - це присутність у неї бажаних властивостей, бо ТС є лише носієм необхідної робочої функції відповідно передбачуваної поведінки. На етапі постановки задачі чи замовлення технічних систем бажані властивості технічної системи називають *вимогами*. Щоб відповідати заданим вимогам ТС повинна не лише виконувати бажану робочу функцію, але і володіти в значній мірі певними властивостями. ТС завжди є носієм найрізноманітніших властивостей, але тільки міра цих властивостей (цінність) має вирішальне значення.

Всі властивості технічних систем можна класифікувати за різними категоріями. В першу чергу виділяють: а) *зовнішні* та б) *внутрішні властивості*. При цьому виходять із системного принципу. Зовнішні властивості

визначають як відношення системи до її оточення. Внутрішні властивості при цьому виявляються як відношення між елементами системи. Користувача ТС цікавлять в значній мірі зовнішні властивості.

За *причинним зв'язком* властивості класифікують на: а) *вхідні дії* (причина) і б) *функції* (наслідок). Між вхідними діями і функціями існують причинні відносини. Наприклад, недостатня жорсткість станини токарного верстату є причиною похибки обробки деталей. Послідовність причини і дії в часі проявляється у вигляді процесу.

За *функціональною залежністю* ТС підрозділяють а) *залежно змінні* та б) *незалежно змінні* властивості. Існує, наприклад, залежність між міцністю і температурою матеріалу; швидкістю руху об'єкту і його кінетичною енергією. Всі ці властивості знаходяться між собою у функціональній залежності, яка може бути виражена аналітично. Ті властивості, на які здійснюється вплив, називаються залежними змінними (міцність). Ті властивості, які здійснюють вплив на інші, називаються незалежними змінними (матеріал, форма, габарити). Одні і ті ж властивості в різних технічних систем можуть виступати як залежні чи незалежні.

За *можливістю кількісного визначення* властивості технічних систем класифікують на ті, що:

- а) *визначаються легко;*
- б) *визначаються важко;*
- в) *не визначаються кількісно.*

Коли неможливо оцінити кількісно властивості, застосовується оцінка на основі системи балів за зростаючими рівнями (класами).

За *значимістю* властивості класифікують на:

- а) *дуже важливі* (незамінимі) – функції безпеки;
- б) *важливі* - надійність, термін служби, ціна;
- в) *менш важливі* – можливість довгого зберігання;
- г) *не суттєві для функціонування* - зовнішній вигляд, колір.

Надзвичайно важливою є класифікація властивостей за *фізичною сутністю*. Виділяють такі властивості:

а) *геометричні* - габарити, симетрія, форма, міжосьова відстань;

б) *кінематичні* - швидкість, прискорення;

в) *механічні* - міцність, пружність, прогин;

г) *теплові* - нагрів, теплопровідність, теплоізоляція;

д) *електричні і магнітні* - ємність, напруга, опір, індуктивність;

є) *оптичні* - фокусна відстань, поляризація;

ж) *акустичні* - шум, звукова частота;

з) *хімічні* - концентрація, корозія, хімічна активність.

Така класифікація наочно демонструє різноманітність технічних систем і відповідає структурі областей знань.

Жодної із наведених систем класифікацій властивостей технічних систем недостатньо для повної характеристики властивостей. В зв'язку з цим з точки зору методології конструкторської діяльності побудована класифікація властивостей за потребою в конструкторській роботі. Відповідні запитання розкривають сутність наведених категорій, а приклади властивостей полегшують розуміння такої класифікації.

Сформульовані технічні умови або технічне завдання завжди передбачає наявність повного переліку *необхідних властивостей технічних систем*. Часто неповне формулювання такого переліку стає причиною істотних дефектів готових виробів. Зміст і форма переліку необхідних властивостей - різні в кожному конкретному випадку, та їх зумовляють такі фактори:

1) *складність виконуваної функції* (вона різна, наприклад, для промислового комплексу і окремої деталі машини);

2) *конструктивна складність* (складна конструкція на відміну від простої, нова конструкція на відміну від модернізованої);

3) *потреба в додаткових властивостях* (висока надійність, більший термін служби, привабливий зовнішній вигляд);

4) *вимоги замовника* (задоволення виробничої необхідності, наприклад, шляхом купівлі готового виробу або замовлення спеціального виробу).

Особливу групу утворюють *постійні вимоги*, які встановлюються не в явній формі, але враховуються практично завжди. До таких вимог відносять:

а) *максимально можливий рівень експлуатаційних властивостей* (зокрема мінімальні габарити, маса, споживання енергії);

б) *оптимальні ергономічні показники* (обслуговування, захист від шуму, тепла, вібрацій, мінімальна шкода навколишньому середовищу);

в) *врахування всіх особливостей існуючого виробництва* (стандартизація, уніфікація, використання обладнання і технології);

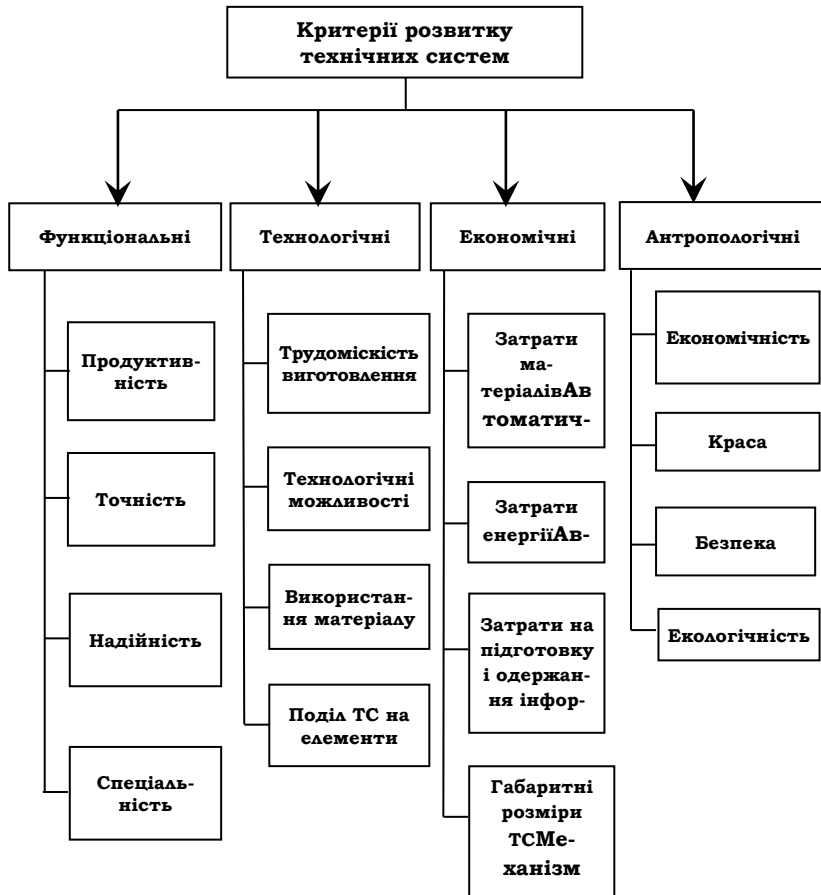
г) *найкращі економічні показники* (мінімальні виробничі витрати).

Вимогами особливого роду є *обмеження*. Вони диктуються конструктору природою і суспільством, внаслідок чого він обмежений у виборі рішення. Наприклад, не можна створити вічного двигуна; існують і обмеження правового характеру.

За значенням для покупців необхідні вимоги поділяють на три категорії: *обов'язкові вимоги* (робоча функція, ціна); *вимоги необов'язкові, або побажання*.

Серед властивостей і показників технічних систем є такі, що мають тенденцію монотонної зміни чи тенденцію підтримання на певному рівні при досягненні своєї межі. Ці показники усвідомлюються як міра досконалості і прогресивності. Їх називають *критеріями технічних систем* і визначають одночасно як критерії розвитку і критерії якості. Значення критеріїв технічних систем особливо важливе для розробки нових виробів на рівні кращих світових досягнень.

Кожна технічних систем має, як правило, декілька критеріїв розвитку. Принцип прогресивного розвитку для кожного нового покоління технічних систем полягає в покращенні одних і непогіршенні інших критеріїв. Єдиний набір критеріїв технічних систем включає такі чотири групи (рис. 2.16):



**Рис. 2.16. Класифікація критеріїв розвитку технічних систем**

– *функціональні критерії*, які характеризують найважливіші показники реалізації функції технічних систем;

– *технологічні критерії*, пов'язані з можливістю і простотою виготовлення технічних систем;

– *економічні критерії*, які визначають економічну доцільність реалізації функції технічної системи;

– *антропологічні критерії*, пов'язані з питаннями людського фактору чи дією позитивних і негативних факторів на людей, викликаних створенням технічної системи.

За критерії розвитку можуть бути вибрані тільки такі параметри технічній системи, які допускають можливість кількісної оцінки на основі *вимірювання*.

Критерій повинен мати такі одиниці виміру, які дозволяють *співставляти* технічні системи у різних країнах і в різний час. Найкраще користуватися безрозмірними питомими величинами.

Умови *включення* критерію передбачають, що за критерій можуть бути прийняті такі параметри технічній системи, які в першу чергу характеризують її ефективність і здійснюють визначальний вплив на розвиток технічної системи. При виборі критеріїв технічної системи повинна бути забезпечена також умова *постійності*.

Умова *мінімальності і незалежності* визначає, що вся сукупність критеріїв розвитку повинна містити лише такі, що не можуть бути логічно виведені із інших критеріїв і не можуть бути їх прямим наслідком.

*Опис кожного критерія технічної системи* містить такі дані:

1) *сутність критерію*, час і причини його виникнення;

2) *формулу чи спосіб вимірювання критерію*;

3) *діапазон і характер зміни значень критерію в часі*;

4) оцінку ступеню загальності критерію за певною шкалою (належність до певного класу, чи групи класів технічної системи);

5) оцінку перспективності критерію (актуальність зростає чи знижується);

б) основні способи і засоби покращення критерію.

Ця група критеріїв складає антропологічні критерії розвитку технічних систем, які забезпечують їх пристосування до людини, зниження дискомфорту і шкідливих впливів від їх функціонування. Ергономічністю вважають властивість людинно-машинної системи змінювати свою ефективність в залежності від ступеню використання оператора.

### **Контрольні питання.**

1. *Перерахуйте основні ознаки технічних систем.*
2. *Надайте визначення поняттю «Чорна скриня».*
3. *Надайте характеристику структури технічної системи.*
4. *В чому особливості динамічних моделей технічних систем?*
5. *Яким чином складається загальна математична модель технічної системи?*
6. *Яка ієрархія опису технічних систем?*
7. *Наведіть відому класифікацію технічних систем за ознаками.*



## РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ, СТВОРЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

### 3.1. Методологія створення технічних систем

З розвитком техніки принципи і методологія створення технічні системи безперервно змінюються і удосконалюються внаслідок впровадження нових способів виготовлення машин, ускладнення їх конструкцій і умов збуту, більш повного вивчення ряду технічних і економічних питань. В процесі створення технічної системи виконують такі роботи: обґрунтування необхідності створення нової технічної системи; науково-технічні дослідження; розробку конструкторського проєкту; виготовлення, випробування та доведення дослідних зразків. Необхідність створення сучасної машини як технічні системи виникає із загальних умов розвитку нової техніки стосовно до конкретного випадку [10,19].

*Нова техніка* це результат науково-технічного досягнення, яке впливає при його реалізації на розвиток продуктивних сил і задовольняє потреби суспільства у продукції на більш високому рівні, ніж відомі раніш прототипи або аналоги.

Враховуючи різноманіття об'єктів за ступенем їх новизни, можна відокремити два основних напрямки:

1) *кількісний*, при якому враховується термін, що пройшов з того чи іншого моменту появи або реалізації нових виробів (наприклад, термін з моменту появи нової техніки, реалізованої ідеї або термін з початку промислового виробництва нової продукції);

2) *якісний*, при якому технічна новинка (пристрій) в залежності від його рівня поділяється на декілька ступенів, починаючи від створення принципово нової

конструкції і закінчуючи зміною її зовнішнього вигляду, а нова технологія (спосіб) призначена для виготовлення принципово нової продукції або підвищення ефективності виробництва.

Кожна впроваджена в експлуатацію нова технічна система повинна перевищувати за своїми показниками і техніко-економічними характеристиками кращі світові стандарти і зразки, які раніше використовувались. Процес створення нової технічної системи або її окремого функціонального вузла складається з чотирьох етапів:

- 1) *науковий* (інженерне прогнозування);
- 2) *конструкторський* (проектування);
- 3) *технологічний* (підготовка виробництва);
- 4) *організаційний* (освоєння виробництва).

*Науковий етап* пов'язаний з інженерним прогнозуванням, яке обґрунтовує необхідність створення нової технічної системи.

Основа *інженерного прогнозування* складають три напрямки, які визначають:

- a) *значимість нових відкриттів і винаходів;*
- b) *мету і технічну стратегію;*
- v) *перспективний рівень розвитку конструкцій*

технічних систем.

При інженерному прогнозуванні використовують *теоретичні і експериментальні засоби аналізу і синтезу.*

*Прогнозування* це не передбачення, а наукове теоретичне обґрунтування того, що повинно здійснитись.

Успіх у створенні нових технічних систем і термін їх життєвого циклу здебільшого залежить від того, наскільки правильно перед проектуванням виконане прогнозування. Слід пам'ятати, що конструктор, який орієнтується на аналог, в тому числі і зарубіжний, який відповідає навіть вищим світовим досягненням, автоматично спонукає свою майбутню технічну систему на відставання. Тому необхідно йти не у форма-

торі зарубіжних фірм, а обирати нові шляхи прискореного розвитку технічних систем, побудованих на нових принципах.

Відомі багато методів складання прогнозу. З них на практиці в основному використовують такі:

1. *Метод екстраполяції тенденцій* (перенос недалекого минулого на майбутнє) для ТС, які розвиваються еволюційним шляхом і достатньо у часі.

2. *Анкетування незалежних думок.*

3. *Метод зважених оцінок.*

4. *Матричний метод.*

5. *Метод моделювання*, який проводиться на моделях згідно з вимогами теорії подібності та інші.

Перші три методи носять суб'єктивний характер, здійснюються із запрошенням експертів і можуть бути об'єднані як метод експертних оцінок (математична обробка опитування групи спеціалістів експертів при недостатньо систематизованій інформації у минулому).

### **3.2. Основні поняття про процес проектування**

Необхідність створення техніки за короткий термін на рівні кращих світових зразків висуває особливі вимоги до другого (конструкторського) етапу, котрий поділяється на творчий і технічний під етапи.

*Процес творчого проектування технічної системи* носить багатоваріантний характер, є складним з послідовним рішенням багаторівневих, багатоциклічних, багатокритеріальних і багато екстремальних задач синтезу, аналізу і вимірювання, починаючи з вибору технічних ідей (технологічний принцип, спосіб формоутворення, принцип затиску і т. д.) і закінчуючи створенням конструкції з оптимальними параметрами.

*Технічне проектування технічної системи* – це процес створення необхідної для виготовлення і експлуатації технічної системи технічної документації (наглядне відображення конструкції машини в цілому і її деталей - ескізи, моделі, макети, креслення із зазначенням необхідних розмірів, посадок, ступенів точності та інших технічних умов; інструкції, які стосуються випробовувань і доводки машини; механічні паспорти виробів, які містять основні відомості про їх техніко-економічні параметри і вказівки щодо експлуатації).

Процес розробки конструкторської документації є поступовим уточненням проєкту і наближенням до розробки робочої документації, за якою виготовляють вироби в одиничному, серійному або масовому виробництві. Багатостадійність процесу проектування вказує на складність задачі і високі вимоги до якості рішень, що приймаються, тому що помилки призводять до необхідності усунення їх у ході виробництва, що викликає невиправдані додаткові витрати часу і засобів.

Рівень конструкторської діяльності можна оцінити ступенем новизни розробки. Найвищим *I рівнем* є *творче конструювання* (оригінальне), коли розробляються конструкції на підставі нових принципів роботи машин; наступним *II рівнем* – *конструктивне удосконалення*, коли створюються машини, принцип роботи яких відомий, але конструктор добивається нових якісних характеристик. До *III рівня* можна віднести *розробку відомих за принципом роботи машин, пристосованих до певних умов експлуатації*. До *IV рівня* відносять створення ряду (гами) машин певного призначення, які відрізняються лише деякими параметрами. Найменш творчий внесок вноситься на *V рівні* конструювання деталей або складальних одиниць з метою погодження їх з умовами конкретного виробництва і стандартами. Починаючи свою роботу

з останнього V рівня конструкторської діяльності, набуваючи досвід і навички, можна досягнути значного успіху, - творчого рішення серйозних конструкторських задач, тобто навчитися бути конструктором.

В процесі проектування треба дотримуватись деяких основних принципів, таких як: конструктивне наступництво, оптимум, уніфікація, стандартизація тощо.

За масштабами проведення розрізняють уніфікацію: заводську, міжзаводську, галузеву і міжгалузеву. Існують також 4 форми проведення уніфікації: *модифікаційна (відносно базової моделі), розмірна, міжтипова, загальна.*

### **3.3. Стадії та етапи проектування технічних систем**

Державний стандарт передбачає 5 стадій розробки конструкторської документації на виробу усіх галузей промисловості: *технічне завдання (ТЗ), технічна пропозиція (ТП), ескізний проект (ЕП), технічний проект (ТПП), розробка робочої документації (РД) або робочий проект (РП).*

Процес розробки конструкторської документації є поступовим уточненням проекту і наближенням до розробки робочої документації, за якою виготовляють вироби в одиничному, серійному і масовому виробництві. Багатостадійність процесу проектування вказує на складність задачі і високі вимоги, що викликає не виправдані додаткові витрати часу і засобів.

*Технічне завдання (ТЗ)* включає призначення, технічні характеристики і показники якості, а також техніко-економічні вимоги, які висувають до розроблюваної конструкції машини. Бажано, щоб в ТЗ була вказана виробнича база, обсяг потрібної і планованої продукції, термін її виготовлення, можливі шляхи модернізації. ТЗ після погодження і затвердження є підставою для виконання проектних розробок.

*Технічна пропозиція* (ТП) містить технічне і економічне обґрунтування доцільності проектування машини згідно з ТЗ, можливі варіанти його реалізації, а також порівняння розроблюваної конструкції з аналогічними, перевірку патентоспроможності і т. д.

*Ескізний проект* (ЕП) містить принципові конструктивні рішення, які дають загальне уявлення про будову і принцип роботи машини, а також дані, які визначають її призначення, основні параметри і загальний вигляд. ЕП після погодження і затвердження служить підставою для подальшої розробки проекту.

*Технічний проект* (ТПП) містить кінцеві технічні рішення, які дають повне уявлення про будову розроблюваної машини, і необхідні вихідні дані для підготовки робочої документації. ТПП після погодження і затвердження служить підставою для розробки робочої документації.

*Робочу документацію* (РД) використовують для одиничного, серійного і масового виробництва машин. У процесі розробки РД найбільш повно враховують технологічні і організаційні фактори виробництва. Ця стадія розробки найбільш довготривала і потребує найбільших витрат часу і засобів. РД розробляють послідовно для виготовлення і випробування дослідного зразка (партії), установчої серії, серійного та масового виробництва.

Інженерні розрахунки у процесі конструювання, як і весь процес проектування машин, носять багатоваріантний характер, що створює сприятливі передумови для вибору оптимального рішення.

Оптимальні варіанти визначають на підставі порівняння оцінок за двома стадіями розробки; зворотні зв'язки між стадіями проектування вказують на можливість уточнення прийнятих раніше рішень. Розробку ТЗ і увесь процес проектування слід розглядати як процес техніко-економічний на основі суспільної потреби у створенні нової технічної системи, яка повинна відповідати сучасному рівню розвитку тех-

ніки, меті і задачам проектування. Тому при розробці ТЗ мова повинна йти про виконання при проектуванні *техніко-економічних вимог* (ТЕВ), які враховують розвиток потреб суспільства, науково-технічного прогресу і існуючої матеріально-технічної бази.

ТЕВ - це сукупність обмежень на технічні і економічні показники, структуру і склад техніки, отримані як результат найбільш раціонального врахування потреб суспільства в техніці і найкращих способах їх задоволення.

Процес конструювання безперервно удосконалюється у напрямку розробки нових методів роботи конструктора, розширення повторного використання конструкторської документації, покращення умов інформованості, застосування технічних засобів ЕОМ. Повторне використання існуючої конструкторської документації сприяє економії засобів на проектування, а також і економії на підготовку виробництва, тому якщо виріб вже використовувався, то і технологічна сторона питання вирішена. Ефективне також часткове використання готової документації або повне використання розробки як частини нового проекту.

Слід пам'ятати, що в процесі конструювання необхідно:

- суворо дотримуватись вимог ЄСКД;
- дотримуватись патентної чистоти конструкції, пам'ятаючи, що використання запатентованих конструкцій допустимо лише на законних підставах;
- широко використовувати стандартні, нормалізовані і уніфіковані у даній галузі (на даному підприємстві) деталі;
- прямувати до обмеження номенклатури матеріалів, намагаючись застосувати лише ті, котрі не є дефіцитними в певній галузі;
- пам'ятати, що як і у всякій життєвій ситуації, перше рішення часто є найкращим; найкраще рішення знаходять іноді завдяки (або в результаті) послідовної розробки ряду варіантів. Краще декілька варіантів забракувати на папері, ніж один у натурі.

При створенні нових технічних систем необхідно враховувати такі технічні вимоги: *систему типізації машин; автоматизацію керування сучасними машинами; зниження маси сучасної машини; технологічність сучасної машини; надійність машини; художньо-естетичне оформлення машин; небезпечність роботи машини; конкурентоздатність машин; характер діяльності оператора у керуванні машиною; систему людина-машина; розподіл функцій керування в сучасних машинах; надійність людини оператора; системний підхід до конструювання.*

Конструкторські документації (КД) ескізного, технічного і робочого проєктів істотно відрізняються.

*Склад КД на стадії ескізного проєкту:*

- 1) загальний вид машини (ескізний);
- 2) кінематична схема;
- 3) загальні види основних вузлів;
- 4) пояснювальна записка з такими розділами:
  - а) технічна характеристика машини (призначення, габарити, маси, потужність, продуктивність, режим роботи і т.д.);

б) опис конструkcії машини із зазначенням її особливостей;

в) розрахунок ТЕП роботи машини в порівнянні з найбільш високими показниками на даний час;

5) розрахунки (кінематичні, динамічні, на міцність та інші).

*Склад КД на стадії технічного проєкту:*

- 1) креслення загального виду машини;
- 2) креслення загальних видів вузлів машини;
- 3) кінематичні, електричні, гідравлічні та інші схеми; перелік комплектуючих виробів; перелік спеціального інструменту і запасних частин;
- 4) пояснювальна записка з такими розділами:
  - а) призначення та область використання розробленої машини;



б) огляд існуючих зразків машин конкретного призначення вітчизняного і закордонного виробництва і порівняльна оцінка їх конструктивних особливостей і експлуатаційних показників;

в) короткий опис конструктивних особливостей нової машини;

г) рішення питань техніки безпеки і виробничої санітарії;

д) рішення питань технологічності з точки зору виробничих умов заводу виробника;

е) розрахунки масштабу виробництва нових машин і ефекту від впровадження їх у народному господарстві;

5) розрахункова записка, яка містить детальні розрахунки: кінематичні, динамічні, на міцність та інші.

*Склад КД на стадії робочого проекту:*

1) креслення загальних видів;

2) креслення вузлів та деталей;

3) специфікація деталей;

4) кінематична, електрична, гідравлічна, пневматична схеми, циклограми та інше;

5) пояснювальна записка з технічною характеристикою і перевірочними розрахунками вузлів і деталей;

6) проєкт технічних умов на виготовлення, приймання, упаковку і транспортування (при необхідності включаючи креслення тари, розміщення і закріплення на залізничному рухомому потязі, водному чи авіаційному транспорті);

7) відомості оригінальних і нормалізованих деталей і вузлів, покупних деталей і виробів, застосування посадочних розмірів, різей, модулів тощо;

8) технічний паспорт і інструкція з експлуатації, догляду та монтажу (з пояснювальними схемами і кресленнями) з картою змащування, складеною згідно з відповідною інструкцією;

9) відомі погодження комплектуючих виробів;

10) проєкт програми випробувань.

### **3.4. Підготовка виробництва до створення та виготовлення нових технічних систем**

Проектована технічна система повинна відповідати вимогам експлуатації тому, що це визначає ефективність її використання, а також відповідає і вимогам виробництва. Ці вимоги неоднозначні. Кожна категорія цих вимог може містити окремі види вимог, які складаються з комплексів конкретних вимог до проєктованих окремих моделей технічних систем. На рівні методологічних розробок можна розглядати і аналізувати тільки окремі види вимог стосовно певного класу машин. Вимоги експлуатації, як і вимоги виробництва, в більшості випадків неоднозначні і можуть бути представлені кількома варіантами. Аналогічна ситуація має місце при розгляді кожного варіанту вимог, тому що йому може відповідати деяка множина варіантів конструкції машини, з котрих обирають оптимальний.

Вимоги експлуатації можуть мати деяке число варіантів ( $E_{B1}, E_{B2}, \dots, E_{Bj}$ ), котрі, наприклад, відрізняються за рівнем автоматизації керування машиною. Вимоги виробництва можуть також мати деяке число варіантів ( $B_{B1}, B_{B2}, \dots, B_{Bj}$ ), котрі відрізняються за рівнем поточності виробництва, який визначається залежно від обсягу випуску машини [10,19].

Кожному варіанту вимог експлуатації може відповідати деяке число варіантів конструкції ( $M_{E11}, M_{E12}, \dots, M_{E1k}$ ) і кожному варіанту вимог виробництва може відповідати деяке число варіантів конструкції ( $M_{B11}, M_{B12}, \dots, M_{B13}$ ).

У варіантах конструкції машини  $M_E$ , крім вимог експлуатації в деякій мірі враховані і вимоги виробництва, а у варіантах конструкції  $M_B$  вимоги виробництва враховані найбільш повно. Повнота вимог залежить від стадії розробки проєкту. Таким чином, є

дві групи варіантів конструкції машин, котрі слід оцінювати за допомогою заданого або прийнятого народногосподарського критерію і на цій підставі розробити оптимальний варіант машини, яка підлягає реалізації.

Кожну властивість об'єкту проектування технічної системи можна визначити трьома чисельними характеристиками:

1) абсолютним значенням одиничного показника якості  $K_{\mu}$ , визначеним метрологічним методом;

2) відносним показником якості  $K_{\mu k}$ , що характеризує ступінь задоволення споживачів у даному об'єкті;

3) ваговий коефіцієнт  $\alpha_{\mu}$ , який визначає важливість даної властивості серед інших властивостей.

У формалізованому вигляді задача оптимального проектування у загальній постановці полягає у визначенні незалежних змінних (незалежних конструктивних параметрів)  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , при яких критерій оптимальності - функція мети проектованого об'єкту  $Q = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , яка є нелінійною функцією змінних, має мінімально (або максимально) можливе значення при умові, що змінні  $X_1, X_2, \dots, X_n$  приймають лише позитивні значення, тобто  $X_j > 0; j = 1, 2, \dots, n$ , і виконуються обмеження, які задані у формі нерівностей для деяких, у загальному випадку нелінійних, функцій цих змінних (функцій обмежень або проектних обмежень)  $R_i(X_1, X_2, \dots, X_n) < 0 (i = 1, \dots, m, m \leq n < m > n)$ .

*Методологія* пошукового конструювання (творчого конструювання) містить чотири характерних етапи, кожен з яких вимагає застосування певної системи методів:

*І етап* зовнішнє проектування, застосування методу формулювання узагальненого критерію якості  $K$  на підставі кваліметрії і визначення сукупності обмежень;

*II етап* синтез знакової моделі (принципової схеми) з прийнятими умовними знаковими позначеннями, застосування методу синтезу на підставі математичного програмування на ЕОМ, яке зводиться у більшості випадків до пошуку глобального екстремуму багаторозмірної цільової функції;

*III етап* синтез образної моделі (конструктивної схеми), застосуванням евристичного методу синтезу без чіткої формалізації процедур синтезу;

*IV етап* перевірка виконання деяких умов функціонування технічних систем, застосуванням методу аналізу додаткових властивостей, тому що може виявитися, що деякий з показників якості не був врахований на II і III етапах.

При позитивних результатах перевірки проектування технічної системи проєкт вважається економічним і можна переходити до розробки документації (робочих креслень).

*Пошукове конструювання може бути машинним і безмашинним. Безмашинне пошукове конструювання відбувається на рівнях пошуку технічних ідей і структур.*

При технологічній підготовки до виробництва вирішують такі основні задачі:

а) відпрацювання конструкцій технічних систем на технологічність;

б) розробка технологічних процесів виготовлення і технологічного контролю заготовок і деталей, складання, а також допоміжних робіт, починаючи з отримання вихідних матеріалів і заготовок і закінчуючи упаковкою готової продукції;

в) типізація і нормалізація технологічних процесів, в тому числі з використанням групової або модульної технології і технологічного оснащення;

г) встановлення технічних норм часу на виготовлення технічних систем, норми витрат матеріалів і технологічного оснащення;

д) проектування спеціального і нормалізованого інструменту, інструменту пристосувань, штампів та іншого технологічного оснащення;

е) виготовлення і доводка запроєктованого технологічного оснащення;

ж) проектування і виготовлення спеціального обладнання, засобів механізації і автоматизації основних і допоміжних виробничих процесів, транспортних засобів і нестандартного обладнання, пов'язаних з технологічним процесом і організацією робочих місць;

з) розрахунок необхідного обладнання і розробка планування його розміщення;

і) розрахунок виробничої потужності цехів, ділянок, ліній;

к) доведення технологічних процесів для забезпечення впровадження запроєктованих режимів і норм, а також налагодження обладнання і технологічного оснащення.

*Технологічна підготовка виробництва* на підставі конструкторської документації повинна забезпечити комплексну розробку технології основних і допоміжних процесів виготовлення нових конструкцій машин на всіх стадіях виробництва. Головною і найбільшою відповідальною частиною підготовки виробництва є проектування технологічних процесів і конструювання технологічного оснащення.

Велике значення для обсягу технологічної підготовки має ступінь конструктивно технологічного наслідування (наступності) нової конструкції машини. Розробка технології виготовлення машин потребує багато часу, але більш трудомісткою роботою є проектування і виготовлення технологічного оснащення, на долю якого доводиться до 80% загальної трудомісткості підготовки виробництва і відповідно до 90% загального продовження циклу підготовки виробництва нової конструкції машин. Одним з найважливіших напрям-

ків скорочення терміну підготовки виробництва є типізація конструктивних елементів і модульний принцип. Цей напрямок дозволяє широко використовувати уніфіковане технологічне оснащення.

В багатьох випадках технологічну підготовку виробництва ведуть паралельно з *розробкою конструкторської документації*.

Відпрацювання конструкції машини на технологічність повинно забезпечити зниження трудомісткості і собівартості виготовлення, скорочення циклу виробництва, зниження вартості робіт по обслуговуванню машин, включаючи підготовку до функціонування, контроль працездатності, профілактичне технічне обслуговування і ремонт. Пропонується така номенклатура показників технологічності конструкції виробів:

- 1) по трудомісткості;
- 2) по собівартості;
- 3) по уніфікації і взаємозамінності;
- 4) по витратам матеріалу;
- 5) по обробці;
- 6) по складу конструкції.

При освоєнні виробництва нових моделей вирішують такі основні задачі:

- а) досягнення обсягу випуску згідно з проектною потужністю підприємства;
- б) забезпечення необхідної стабільності якості;
- в) досягнення проектної трудомісткості виготовлення на усіх стадіях виробництва.

При перебудові виробництва на випуск нових конструкцій машин існує два методи:

- 1) перехід із зупинкою виробництва;
- 2) перехід без зупинки виробництва.

При освоєнні виробництва деяких ТС грошові витрати на доопрацювання креслень у процесі освоєння досягають 25...34%.

### **3.5. Автоматизація проектування і виготовлення технічних систем**

Розробка оптимальної конструкції вимагає розгляду певного числа варіантів. Такий шлях проектування може привести до багатоваріантних задач, котрі вирішуються за допомогою сучасних математичних методів, а розрахунки ведуть за допомогою ЕОМ. В час науково-технічного прогресу підвищуються темпи морального старіння машин, що викликає необхідність прискорення проектування нових моделей, до яких висувають більш високі вимоги по якості і ефективності. Задоволення цих вимог підвищує обсяги проектних робіт, що потребує значного підвищення продуктивності праці інженерно-технічних працівників, зайнятих проектуванням, впровадженням і розробкою *систем автоматизованого проектування (САПР)*.

САПР будують з врахуванням єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), а також автоматизованої системи управління виробництвом (АСУВ).

САПР може бути розглянутий у вигляді комплексу окремих етапів і наявності прямих і зворотних зв'язків.

Вихідним положенням є логічна постановка задачі, зміст якої визначається системними моделями. Особливе значення набирає етап формалізації зв'язків, тому що нова постановка задачі на підставі системного підходу потребує в багатьох випадках наукових досліджень для встановлення закономірностей дій зв'язків. В цьому випадку можуть виникнути труднощі, які потребують уточнення постановки задачі.

Етап формалізації задачі є переходом у зону математичних дій. Власне на цьому етапі необхідне погодження постановки задачі з можливостями проведення розрахунків, і вірогідно, що виникне необхідність в уточненні попередніх етапів.

Етап аналізу результатів потребує кваліфікованої оцінки, тому що від нього залежить вибір рішення. Прийняте рішення може бути спрямоване не на його безпосередню реалізацію у конструкції, а на уточнення постановки задачі.

При використанні для виготовлення машин, верстатів з ЧПК і верстатних комплексів завдяки однозначній дискретній системі перетворення інформації доцільно об'єднати процеси автоматизованого проектування, автоматизованого програмування і автоматизованого виробництва, що значно скорочує терміни від ідеї до готової продукції.

«Цикл життя» технічних систем можна поділити на етапи, стадії і операції.

Чотирма етапами «циклу життя» технічної системи є *створення, переміщення (постачання, монтаж), використання і ліквідація*. Технічна система на кожному етапі повинна задовольняти певним вимогам, тобто мати певні властивості. Кількість і тривалість стадій, на які поділяються етапи «життя» технічної системи, залежать від рівня її складності, оригінальності конструкції, способу виробництва і вимог замовника. Залежно від проектно-конструкторської реалізації і існуючих традицій деякі стадії можуть бути визначені різним чином. Сукупна цінність технічної системи визначається головним чином на стадії конструювання.

«Цикл життя» технічної системи складається з ланцюга фаз:

*Ф1 – постановка мети і формування задачі;*

*Ф2 – розробка задуму нової технічної системи (інформаційна фаза - образ задуму);*



Ф3 – проведення цільових досліджень у межах програми науково-дослідної роботи (НДР);

Ф4 – дослідно-конструкторські роботи (ДКР);

Ф5 – створення і дослідження дослідного зразка;

Ф6 – випуск у економічну сферу;

Ф7 – впровадження (підготовка виробництва, виробництво і експлуатація);

Ф8 – припинення випуску і експлуатації;

Ф9 – знищення (утилізація).

На всіх фазах життєвого циклу виникає безперервне надбання нових знань і поступове їх втілення не тільки у будові машин, але і в технології, довідкіллі, регламентах і в технологічній документації, патентних, наукових публікаціях і т.д.

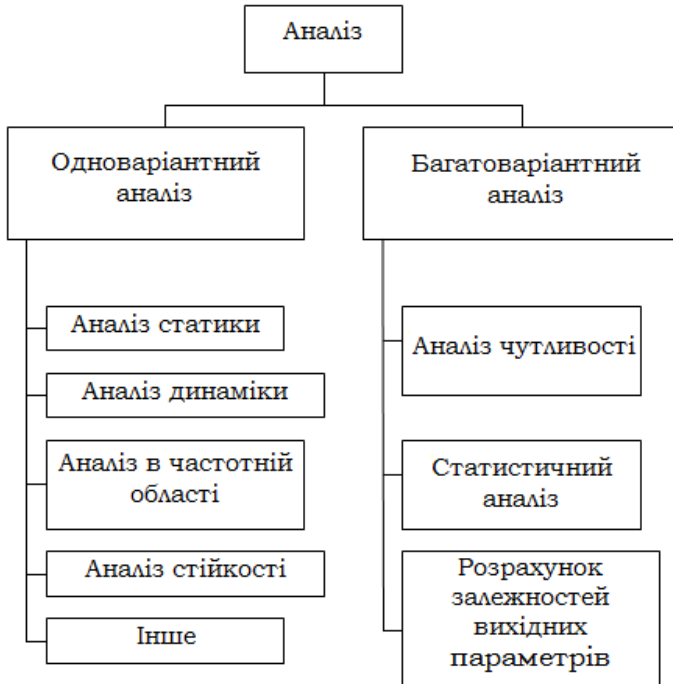
### **3.6. Проведення аналізу технічних систем**

Процес проектування технічних систем розглядають як сукупність процедур переробки інформації, в результаті чого виникає кінцевий продукт цього процесу - *проект*. Значна частина таких процедур є типовими, тобто вони призначені для багаторазового застосування при проектуванні багатьох типів технічних систем. Розрізняють проектні процедури *аналізу* і *синтезу*.

*Синтез* передбачає створення опису технічної системи.

*Аналіз технічної системи* - проектна процедура, яка полягає у визначенні властивостей спроектованої системи і дослідженні працездатності ТС за її описом. Аналіз передбачає розв'язок задач функціонального проектування з допомогою математичних моделей (ММ) технічної системи на мікро-, макро- і метарівнях.

Процедури аналізу поділяють на процедури одного багатоваріантного аналізу (рис. 3.1).



**Рис. 3.1. Класифікація процедур аналізу**

Основою функціонального проектування є *одно варіантний аналіз* технічної системи, визначення вихідних параметрів технічної системи при заданих внутрішніх і зовнішніх параметрах. Геометрична інтерпретація цієї задачі пов'язана з поняттям простору внутрішніх параметрів. Це  $n$ -вимірний простір, в якому для кожного із  $n$  внутрішніх параметрів  $x_i$  виділена координатна вісь. При одноваріантному аналізі задається деяка точка в просторі внутрішніх параметрів і необхідно в цій точці визначити значення вихідних параметрів.

Більшість задач одноваріантного аналізу (моделювання перехідних процесів, статичних режимів, частотних характеристик і т. д.) зводиться до рішен-

ня систем звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР), а також систем лінійних і нелінійних алгебраїчних рівнянь (АР). Задачі розв'язку систем ЗДР і АР можуть виникати на різних етапах і рівнях проектування.

Успішне розв'язання задач одноваріантного аналізу створює передумови для постановки і рішення задач багатоваріантного аналізу, який полягає в дослідженні властивостей технічної системи в деякій області простору внутрішніх параметрів. Багатоваріантний аналіз дозволяє визначити поведінку об'єкту проектування при зміні його внутрішніх і зовнішніх параметрів. Такий аналіз потребує багаторазового розв'язку систем рівнянь (багаторазового виконання одноваріантного аналізу). Основними задачами багатоваріантного аналізу є аналіз чутливості і статистичний аналіз.

При виборі і розробці методу чи алгоритму аналізу перш за все встановлюють область його застосування. Чим ширше коло задач і методів моделювання (ММ), які вважаються допустимими для розв'язку даним методом, тим цей метод *універсальніший*. У більшості випадків чітке і однозначне формування обмежень на застосування методу викликає певні труднощі. Ймовірність успішного застосування методу в окресленому колі задач менша одиниці. Ця ймовірність є кількісною оцінкою важливої властивості методів і алгоритмів, яка називається *надійністю*.

Відмови у розв'язку задач можуть проявлятися у розбіжності ітераційного процесу, у перевищенні похибок гранично допустимих значень і т.п. Причинами відмов можуть бути погана обґрунтованість ММ, обмежена область збіжності, обмежена стійкість. До методів і алгоритмів аналізу, як і до ММ, висувають вимоги точності і економічності. *Точність* характеризується ступенем співпадіння точного розв'язку рівнянь заданої моделі і наближеного розв'язку, отриманого з допомогою оцінюваного методу, а *економічність* – витратами обчислювальних ресурсів на реалізацію методу (алгоритму).

Оцінки точності і економічності можуть бути і теоретичними і експериментальними.

Найбільше розповсюдження при розрахунку лінійних систем отримали *алгебраїчний критерій Гурвіца, частотні критерії за годографом Найквіста і за логарифмічними частотними характеристиками (ЛЧХ)*.

*Аналіз чутливості* полягає у визначенні впливу внутрішніх і зовнішніх параметрів на вихідні параметри, які називають коефіцієнтами чутливості (впливу).

*Статистичний аналіз* виконується з метою отримання інформації про розсіювання вихідних параметрів і розрахунку ймовірності виконання умов працездатності при заданих статистичних даних.

Більшість задач аналізу технічних систем зводяться до розв'язку систем алгебраїчних і звичайних диференціальних рівнянь. З розвитком автоматизованих розрахунків найбільш вживаними стають чисельні методи і алгоритми.

Серед чисельних методів апроксимації виділяють завдання *стандартних функцій* шляхом представлення їх у вигляді рядів. Зокрема, використовують *ряд функцій, ряд Тейлора*, застосовують *інтерполяцію для апроксимації функції* та інші.

Найбільш часто використовують *лінійно-кусову і параболічну інтерполяцію*.

Чисельний розв'язок *рівнянь* включає *чисельне диференціювання, чисельне інтегрування функції, чисельне інтегрування звичайних диференціальних рівнянь, розв'язок систем лінійних рівнянь, розв'язок нелінійних алгебраїчних рівнянь* і т. д. Якщо функція задана таблично, то найпростіші формули чисельного диференціювання отримують в результаті диференціювання інтерполяційних формул. Найпростіша формула чисельного інтегрування *функції* формула прямокутників базується на визначенні інтегралу. Часто використовують також *формули трапецій і Сімпсона*.

Чисельне інтегрування звичайних диференціальних рівнянь можливе як явними, так і неявними методами. Найпростіша формула чисельного інтегрування - формула явного методу Ейлера, також використовують неявний метод Ейлера, методи Адамса, Рунге-Кутта та інші.

В розв'язок систем лінійних алгебраїчних рівнянь закладено метод Гауса.

Процедури аналізу технічних процесів передбачають розв'язок їх функціональних моделей. Функціональні моделі відображають фізичні процеси, що мають місце в технічних системах (у обладнанні, інструменті, приладах, оброблюваному матеріалі).

Розповсюдженими є дискретні моделі, змінні яких дискретні, а множина рішень обмежена. В більшості випадків проектування технічних процесів використовують статичні моделі, рівняння яких не враховують інерційність процесів в технічних системах.

За формою зв'язків між вихідними, внутрішніми і зовнішніми параметрами при здійсненні технічних процесів розрізняють моделі у вигляді систем рівнянь (алгоритмічні моделі) і моделі у вигляді явних залежностей вихідних параметрів від внутрішніх і зовнішніх (аналітичні моделі). Опис математичних співвідношень на рівнях структурних, логічних і кількісних властивостей приймає конкретні форми в умовах певного технічного процесу. Вибір типу ММ, найбільш ефективної в умовах конкретної задачі, визначається сутністю технічного процесу, формою представлення початкової інформації, загальною метою дослідження.

Особливості процедур аналізу технічних процесів в залежності від складності задач визначають різні принципи побудови і вибору моделей. Часто виникає необхідність розробки менш точної моделі, але разом з тим більш корисної для практики. Виникають дві задачі: з одного боку, - треба розробити модель, на якій

простіше отримати чисельні розв'язання, а з *другого* забезпечити максимально можливу точність моделі. З метою спрощення для аналізу використовують такі прийоми, як *виключення параметрів, зміна характеру параметрів, зміна функціональних співвідношень між параметрами* (наприклад, лінійна апроксимізація), *зміна обмежень* (їх модифікація, поступове включення обмежень до умови задачі). Процедури аналізу технічних процесів передбачають використання типових методів і алгоритмів рішення задач.

### **3.7. Побудова технологічних систем**

Технологічна система як складний технічний об'єкт має низку характерних ознак, які створюють специфіку її дослідження та проектування. За нормативним документом, технологічна система – це сукупність функціонально взаємозв'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для здійснення в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів та операцій.

Предметом виробництва, або виробом, є матеріал, заготовка, напівфабрикат або виріб, що перебувають відповідно до виконуваного технологічного процесу в стадії збереження, транспортування, формоутворення чи обробки, складання, ремонту, контролю та випробувань. До регламентованих умов виробництва відносять регулярність подавання предметів виробництва, параметри енергозбереження та інші впливи зовнішнього середовища.

Технологічна система як технічний об'єкт вивчення має два аспекти опису: функціональний, що являє собою, по суті, опис процесу, який цією технологічною системою реалізується, і технічний, який включає опис технічних засобів та зв'язків між ними.

Опис технічних засобів для виготовлення виробу визначає поняття технологічного комплексу - сукупність функціонально взаємозв'язаних засобів технічного спорядження для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів та операцій.

Процеси, які реалізують більшість технологічних систем, можуть бути розділені залежно від їх складності на: виробничий процес, технологічний процес і технологічну операцію.

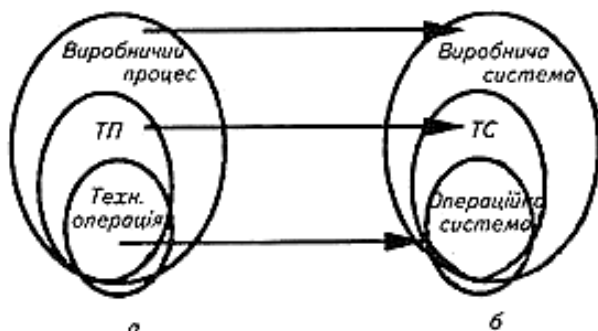
*Виробничий процес* – це сукупність усіх дій людей та операцій виробництва, необхідних на підприємстві для виготовлення чи ремонту виробів. Він включає як усі основні процеси, які безпосередньо пов'язані зі зміною стану предмета виробництва (механічної обробки, складання тощо) і необхідні для отримання із вихідних матеріалів готового виробу, так і допоміжні (транспортування предметів виробництва, їх зберігання, ремонт і обслуговування обладнання тощо), які виконуються на підприємстві і необхідні для здійснення основних. Кожен виробничий процес має в своєму складі технологічні процеси.

*Технологічний процес* – це частина виробничого процесу, що включає цілеспрямовані дії, пов'язані зі зміною та (або) визначенням стану предмета праці. Технологічні процеси розділяють за технологічним методом, покладеним в основу процесу. Розрізняють технологічні процеси механічної обробки, складання, термічної обробки, фарбування, переробки, пакування, лиття, штампування тощо.

Технологічні процеси, залежно від їх складності, поділяються на технологічні операції.

*Технологічна операція* – це завершена частина технологічного процесу; що виконується на одному робочому місці. Залежно від виду технологічного процесу (ТП), який реалізується технічною системою, розрізняють виробничу систему, технологічну систе-

му (ТС), операційну систему (рис. 3.2). У цьому випадку стає очевидним, що метою функціонального проектування виробничої системи є створення структури виробничого процесу, технологічної системи – створення технологічного процесу, а операційної – технологічної операції.



**Рис. 3.2. Співвідношення понять видів процесів та систем**

При функціонуванні технологічної системи, яка реалізує технологічний процес, взаємодіють три види вхідних потоків: енергії, матеріалів та інформації, в результаті чого відбувається:

- формування у вхідних заготовках, які створюють вхідний матеріальний потік, параметрів якості виробу як предмета виробництва шляхом використання енергії неживої природи для реалізації технологічних перетворень;

- транспортне переміщення матеріального потоку предметів виробництва через технологічну систему, що забезпечує безперервність процесу формування якості виробу;

- проходження та переробка потоку інформації про предмет виробництва в керуючі впливи, що забезпечує функціонування технологічної системи. В цьому випадку технологічний процес, що реалізується технологічною системою, може розглядатись як процес послідовної матеріалізації інформації про якість виробу.



Технологічні системи мають багато ознак, за якими їх можна класифікувати. За видом реалізованого технологічного процесу розрізняють безперервні, дискретні та дискретно-безперервні технологічні системи.

### **3.8. Побудова інформаційно-вимірювальної системи**

Комплексна реалізація стратегій енергетичної незалежності України визначається багатьма факторами, такими як: ціна на енергоносії, енергоефективність будівель та каналів передачі енергії, альтернативних джерел живлення. При цьому енергетичний стан міських будівель залежить від інформації щодо втрат теплової енергії кожного об'єкту при проведенні моніторингу, що дає можливість оцінити ефективність заходів енергоощадності. Всі ці проблеми є основою для створення *інформаційно-вимірювальної системи* (ІВС) для оцінки стану енергоефективності муніципальних будівель та споруд та ініціювання енергоощадних проєктів по їх реконструкції [3,11,13,14,34].

Для прикладу розглянемо порядок створення ІВС моніторингу енергоефективності будівель. При проєктування ІВС моніторингу енергоощадності будівель слід зазначити, що раціональний розподіл функцій між людиною (експерт, що знімає показники тепловізора) та системою прийняття управлінських рішень залежить від організації їх взаємодії при вирішенні поставленої задачі. Ефективність автоматизованого управління даною системою може зменшитися через складність ЕОМ оперувати значною експериментальною інформацією та невизначеними параметрами. Тому розглянемо структуру ІВС для роботи з вимірювальними параметрами, в якій представлено три рівня управління: перший

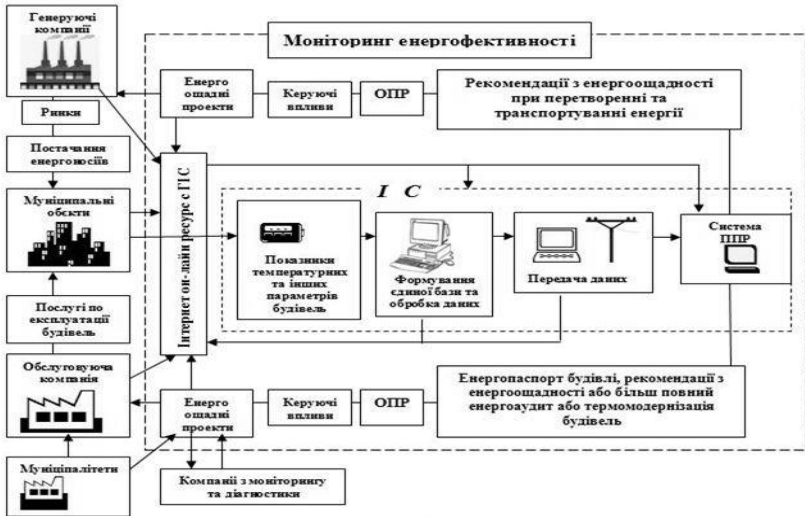
рівень – збір інформації про енергетичні параметри будівель – залишається за людиною, другий рівень – обробка даних за допомогою ЕОМ і отримання когнітивної моделі, і третій рівень прийняття рішень про енергоефективні заходи.

Така система працює наступним чином: за допомогою спеціальних приладів проводиться вимірювання температурних параметрів об'єкту. Отримані дані генеруються в базі даних, потім передаються особі, яка приймає проектні рішення.

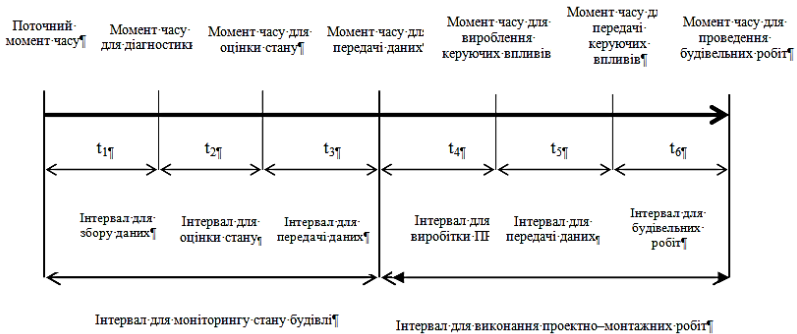
На основі існуючих фінансових ресурсів *система прийняття проектних рішень* (СППР) надає рекомендації з реконструкції приміщень, відповідно з отриманих даних, і надає їх в обслуговуючу компанію, яка виконує будівельно-монтажні роботи (рис. 3.3, а). У відповідності з рис. 3.3, а та рис. 3.3, б представлено часовий графік моніторингу стану будівель та виконання проектно-монтажних робіт згідно проекту.

В загальному вигляді дана ІВС функціонує наступним чином. Першим етапом являється збір інформації про температурний стан муніципального об'єкта [33]. Для цього експерту, за допомогою тепловізійної зйомки, необхідно виміряти температуру об'єкта в контрольних точках. Отримані дані обробляються та переносяться в інформаційну систему «Термографії будівель», де проводиться процес аналізу даних, побудова когнітивної карти оцінки енергоефективності об'єкта.

Результати заносяться в базу даних, яка дозволяє об'єднати отримані дані і знайти найбільш вразливі точки по тепловтратам.



а



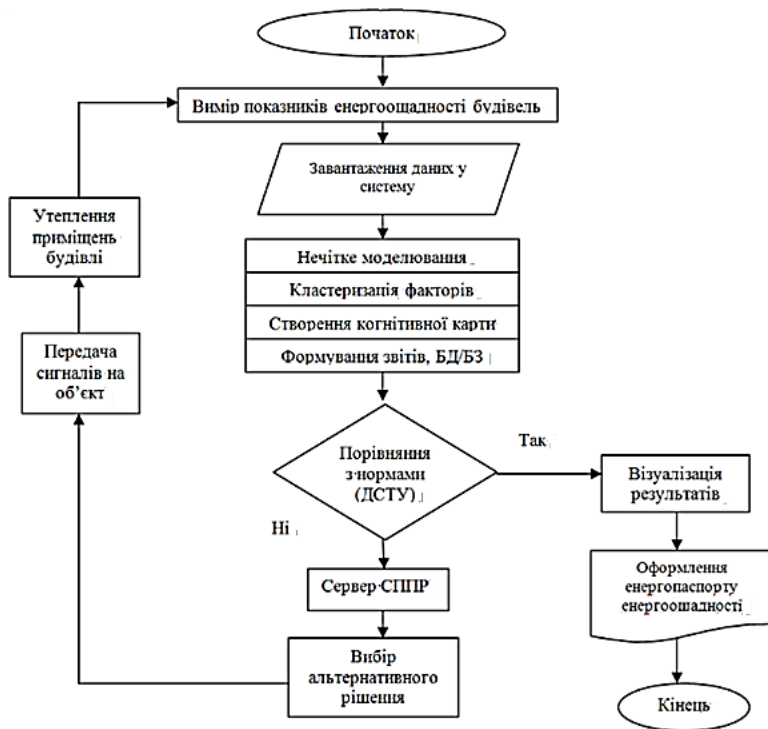
б

**Рис. 3.3. Моніторинг енергоощадності муніципальних будівель**

На основі систематизованих параметрів інженер-енергоаудитор вводить отримані дані на сервер глобальної інформаційної мережі. Використавши звичні операції інтернет-користувач (особа, яка ініціює прийняття рішень на рівні міста, області або країни) скориставшись діями, які рекомендовані по енерго-

збереженню (заміна вікон, утеплення стін, додавання джерел енергії і т. д.) в залежності від наявних матеріальних ресурсів, дає команду на проведення ремонтних робіт. По закінченню операцій система присвоює об'єкту клас енергоефективності з візуалізацією параметрів і видає енергопаспорт на об'єкт.

Алгоритм функціонування запропонованої системи представлено на рис. 3.4.



**Рис. 3.4. Алгоритм роботи системи з об'єктами**

Основними функціональними характеристиками запропонованої ІВС є:

1. Інтерактивний інтерфейс для постановки завдань і вводу даних та обліку інформації проєктувальником.

2. Можливість роботи з вхідними та вихідними файлами даних в командному режимі.

3. Наявність власної компактної БД та бази правил для зберігання в закодованому вигляді параметрів моніторингу енергоощадності будівель в обраній галузі.

4. Механізм вибору найкращих рішень по енергоощадності будівель.

5. Система кодування контексту моделей для передачі в Інтернет.

6. Здатність коригування параметрів в залежності від рішень СППР.

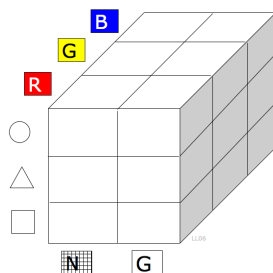
Для оцінки ефективності розробленої інформаційно-вимірювальної системи необхідно вибрати критерії та фактори аналізу. При цьому, для ефективного вибору системного та офісного програмного забезпечення, необхідно враховувати вид підприємства або проєкту, для якого виконується оцінка ефективності. Аналіз факторів дозволяє визначити переваги або недоліки нової ІВС, оцінити гнучкість, а також врахувати можливі фінансові ризики при застосуванні нової системи.

Відомо, що в теорії інформаційних технологій використовуються різні критеріальні характеристики: точність, швидкодія, надійність, вартість та ін. Кожну з них можна розглядати як однопараметричний (частковий) критерій ефективності, чи використовувати узагальнений (комплексний) критерій, що пов'язує у необхідних пропорціях основні, найважливіші часткові параметри системи.

### **3.9. Побудова технічних системи методом морфологічного аналізу**

*Морфологічний аналіз* (метод морфологічного аналізу) – заснований на підборі можливих рішень для окремих частин завдання (так званих морфологі-

чних ознак, що характеризують пристрій) і подальшому систематизованому отриманні їх поєднань (комбінуванні). Він відноситься до евристичних методів. Метод розроблений швейцарським астрономом Фріцем Цвіккі (рис. 3.5). Завдяки цьому методу він зміг за короткий час отримати значну кількість оригінальних технічних рішень в ракетобудуванні.



**Рис. 3.5. Куб Цвіккі**

Куб Цвіккі дозволяє представити різні комбінації можливих реалізацій параметрів об'єкта, наприклад, кольору, форми і текстури.

Для проведення морфологічного аналізу необхідно точне формулювання проблеми для розглянутої системи. У результаті дається відповідь на більш загальне питання за допомогою пошуку всіляких варіантів приватних рішень, незалежно від того, що у вихідній задачі мова йшла лише про аналіз однієї конкретної системи.

Основні етапи застосування методу.

1. З'ясовується мета завдання – пошук варіантів функціональних схем, або принципів дії, або структурних схем, конструктивних різновидів розроблюваної системи. Можливо дослідження одночасно за кількома ознаками.

2. Виділяють вузлові точки (осі, окремі частини завдання), які характеризують розроблювану систему з позиції раніше сформульованої мети. Це можуть

бути приватні функції підсистем, принципи їх роботи, їх форма, розташування, характеристики та властивості (стан речовини і енергії, вид завершеного руху, фізичні, хімічні, біологічні, психологічні, споживчі властивості тощо). Зручно попередньо (припустимо, з аналізу аналогічної системи) побудувати відповідну блок-схему (функціонування, принципу дії, структурну схему), елементи якої утворюють вузли.

Кількість вузлів зазвичай вибирається з умови видимості і реальності аналізу одержуваних згодом варіантів: при ручній обробці – 4...7 вузлів, при роботі на комп'ютері - у межах фізичної можливості обчислювальної техніки і відведеного на рішення задачі часу. Зручно завдання вирішувати в декілька етапів: спочатку по обмеженому числу найбільш важливих вузлових точок, а потім – для додаткових, другорядних або виявлених у ході аналізу. Далі для кожної вузлової точки пропонуються варіанти рішень: або виходячи з особистого досвіду (залежить від ерудиції), або беручи їх з довідників і банків (баз) даних (тобто на кожен вісь нанизуються можливі рішення, за аналогією з рахунками). Варіанти повинні охоплювати всю область можливих рішень для даної вузлової точки. Але щоб задача була адекватною, рекомендується спочатку виділяти укрупнено-узагальнені групи варіантів, які при необхідності згодом конкретизуються. Варіанти можуть бути не тільки реальні, але й фантастичні.

І наприкінці проводять повний перебір всіх варіантів рішень (кожен раз беруть по одному варіанту для кожної осі) з перевіркою комбінацій на відповідність умовам завдання, на несумісність окремих варіантів запропонованої їх загальній групі, на реалізованість та інші умови. При необхідності для обраних рішень можна повторити морфологічний аналіз, конкретизуючи вузли (осі) і варіанти. Морфологічний аналіз зручніше і наочніше проводити з застосуванням морфологічних таблиць (ящиків).

### **3.10. Вибір структури та форми технічної системи**

Структура системи це стійка упорядкованість у просторі та в часі її елементів і зв'язків. Структура - форма представлення якогось об'єкту у вигляді складових частин.

*Структура* – це множина можливих відношень між підсистемами і елементами усередині системи.

*Структура* – це сукупність елементів і зв'язків між ними, котрі визначаються, виходячи із розподілу функцій і цілей, поставлених перед системою.

*Структура системи* – це те, що остається незмінним в системі при зміні її стану, при реалізації різних форм поведінки, при здійсненні системою операцій і т. ін.

У сукупності, данні визначення достатньо повно відображають те головне, що є у будь-якій структурі:

- елементний склад;
- наявність зв'язків;
- інваріантність (незмінність) у часі.

Оскільки структура – це частина системи, то необхідно завжди чітко вказувати, яка саме частина, які властивості та признаки є структурними, а які ні. Відповіді на ці питання, безумовно залежать від мети дослідження системи, тому дослідника будуть цікавити різні інваріантні у часі властивості системи [2].

Узагальнюючи вищевикладене, під структурою будемо вважати сукупність властивостей системи, яка є істотною з точки зору здійснюваного дослідження і яка володіє інваріантністю в інтервалі функціонування.

Передбачається, що елементи структури не залежать від часу, тобто не змінюється протягом певного інтервалу часу. Зміни структур, структурні перебудови системи можуть відбуватись як стрибкоподібно під впливом специфічних взаємодій, так і в резуль-



таті поступових накопичень змін факторів функціонального характеру.

За ступенем зв'язку та розумінням будови або сприйняття системи, розрізняють форми, сукупності та структури.

*Форма* – це зовнішній вигляд об'єкта безвідносно до його суті. Наприклад, земну кулю і літак в певних моделях та розрахунках можна представити у вигляді точки.

*Сукупність* – це поєднання або набір в одну сукупність безвідносно до форми чи порядку. Структура – це множина частин або форм (елементів), які знаходяться у взаємодії та специфічному порядку, необхідному для реалізації функцій.

Будь-яка система строго і однозначно визначається її структурою і функціями елементів, що входять в систему. Функція є первинною щодо структури.

Під *елементом* розуміють найпростішу неподільну частину системи. Поняття елемента є умовним, бо залежить від рівня ієрархії розглядуваних об'єктів в структурі системи. Саме тому під елементом розуміють межу розчленування системи з точки зору вирішення конкретної задачі і поставленої мети. Наприклад, в системному блоці комп'ютера можна виділити процесор, материнську плату, шини, відео- та звукові карти, пам'ять, мультимедійні засоби і т. ін. В свою чергу, кожний з цих блоків може бути розчленований на більш дрібніші складові, - резистори, конденсатори, діоди, транзистори і т. ін.

Системи, зазвичай, мають різноманітні структури. Порядок входження елементів у підсистеми з подальшим послідовним об'єднанням підсистем у цілісну систему, утворює структуру системи.

*Підсистема* – це сукупність взаємопов'язаних елементів, котрі володіють властивостями системи (зокрема, властивостями цілісності), яка здатна виконувати відносно незалежні функції, підцілі, спрямовані на досягнення загальної мети системи.

Якщо частини системи не володіють властивістю цілісності і здатністю виконувати незалежні функції, а представляють собою сукупності однорідних елементів, то такі частини прийнято називати компонентами.

Ієрархічні структури є декомпозицією системи в просторі. Все вершини і зв'язки існують в цих структурах одночасно (не рознесені в часі). Взагалі ж кажучи, структури можуть бути самими різноманітними і включати різні комбінації взаємозв'язків елементів. Структура є найбільш консервативною характеристикою системи. Хоча стан системи змінюється, її структура може залишатися незмінною тривалий час.

В залежності від характеру організації елементів у системі та їх зв'язків можна виділити основні типи структур (рис. 3.6):

По просторовій організації розрізняють структури:

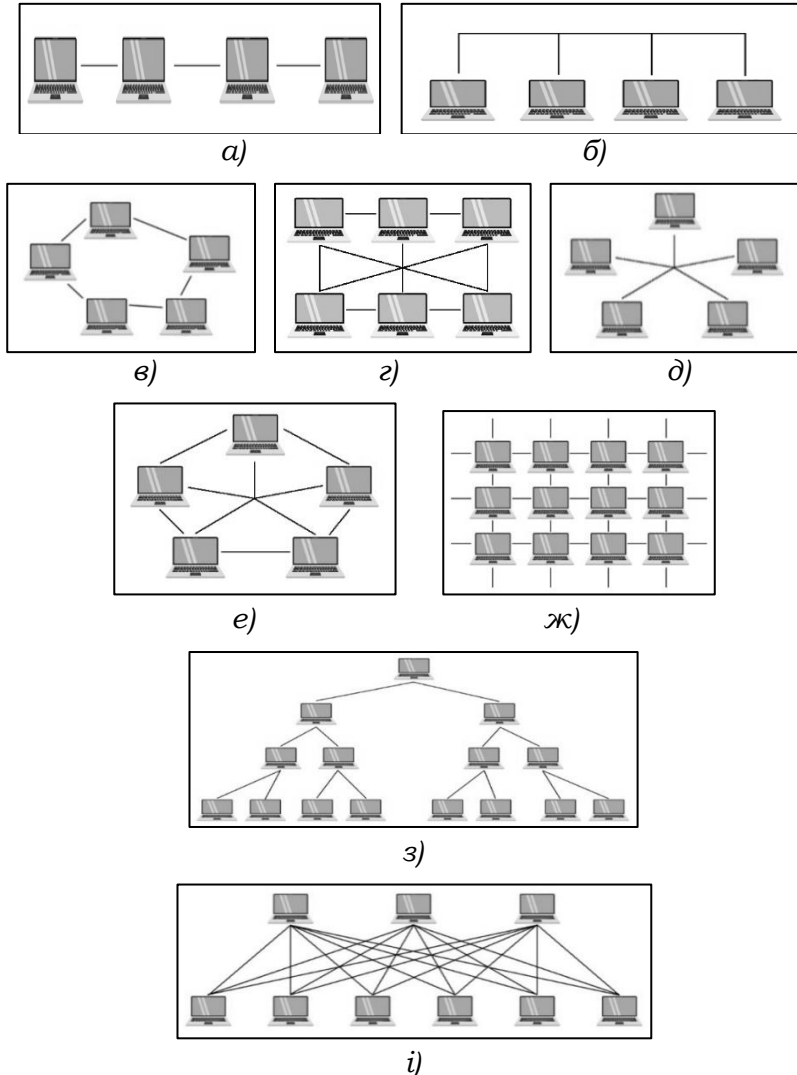
- плоскі і об'ємні;
- розосереджені, коли елементи рівномірно розподілені у просторі;
- локально зосереджені при наявності згущення елементів;
- зосереджені, коли є одне згущення елементів.

По часовій ознаці виділяють:

- екстенсивні структури, у яких протягом певного часу відбувається збільшення числа елементів;
- інтенсивні, у яких відбувається зростання кількості зв'язків та їх потужностей при незмінному складі елементів;
- редукуючі;
- деградууючі;
- стабільні структури, у яких структура не змінюється протягом усього періоду життя системи.

По ступеню централізації виділяють три класи структур:

- ієрархічні;
- неієрархічні;
- змішані.



**Рис. 3.6. Типи структур системи:**  
**а) лінійна; б) паралельна; в) кільцева;**  
**г) повнозв'язана (кожний зв'язаний з кожним);**  
**д) зіркова; е) структура типу «коло»; ж) матрич-**  
**на з) ієрархічна (централізована); и) структура з**  
**багатьма центрами управління**

По характеру і стабільності зв'язків виділяють:

- хаотичні;
- багатозв'язні;
- ієрархічні;
- детерміновані;
- змішані.

Для ієрархічних структур характерна наявність керуючих (командних) підсистем. У неієрархічних структурах керуючі функції розподілені між усіма елементами, або групами елементів. Зазвичай, наявність ієрархії є ознакою високого рівня організації, хоча можуть існувати і неієрархічні високоорганізовані структури. У функціональному відношенні ієрархічні структури більш ощадливі. Надмірність структури свідчить про недоцільні витрати ресурсів, котрі виправдані тільки у тому випадку, якщо метою є подальший розвиток системи, її морфологічна перспектива.

**Контрольні питання:**

1. *Перерахуйте основні етапи процесу створення технічної системи?*
2. *Надайте характеристики та основні поняття процесу проектування?*
3. *Перерахуйте основні конструкторські документи, що використовуються при створенні технічних систем?*
4. *Надайте характеристику основним задачам технологічної підготовки виробництва?*
5. *Що включає до себе автоматизація проектування технічних систем?*
6. *Якими математичними методами описується процес створення систем?*
7. *Які особливості створення технічних систем?*
8. *Які особливості створення інформаційно-вимірjuвальних систем?*
9. *Які особливості побудови технічних систем методом морфологічного аналізу?*

## РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА

### 4.1. Застосування системного підходу в управлінні технічними проєктами

Науково-технічний прогрес (НТП) являє собою процес безперервного розвитку науки, техніки, технології, форм і методів виробництва. НТП впливає на інноваційну діяльність підприємств, які, в свою чергу, хоча й у меншому ступені, впливають на зростання і розвиток НТП. НТП відображає дії, що здійснюються промисловими підприємствами для підвищення ефективності своєї роботи. Прагнення досягти переваги у конкурентній боротьбі змушує виробників пропонувати нові товари та послуги, що забезпечують споживачу можливість широкого вибору. Розробка нових продуктів веде до більш передових технологій, що забезпечують винаходи і відкриття, використання яких, в свою чергу, дозволяє підприємствам виробляти більш сучасні та конкурентоспроможні товари, що приводить до прискорення НТП. Такий розвиток є основою підвищення добробуту і культури народу.

Головними напрямками НТП в сучасних умовах є [16, 27]:

- комплексна механізація і автоматизація виробництва, використання робототехніки і гнучких виробничих систем;

- комплексна автоматизація і регулювання процесів управління виробництвом на основі електротехніки і комп'ютерної техніки. Широке впровадження *автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП)*:

- комплексна автоматизація процесів проектування продуктів і промислових технологій (САПР).

- застосування нових видів та джерел енергії у технологічних процесах;
- використання хімічних процесів для створення нових видів матеріалів із заданими властивостями;
- застосування нематеріальних технологій на базі лазерної, плазмової, вакуумної та детонаційної техніки;
- застосування генної інженерії і біотехнології для поліпшення сортів сільськогосподарських культур, створення штучних кормів і медичних препаратів;
- використання технологічних досягнень, електроніки і комп'ютерної техніки в нових зразках машин і устаткування;
- застосування безвідходних, енергозберігаючих і ресурсозберігаючих технологій, а також товарів, що характеризуються низькою енергоємністю та низьким ступенем забруднення навколишнього середовища;
- пріоритети особистості людського фактору у формуванні системи управління виробництвом.

Викладені шляхи і напрямки НТП свідчать про те, що тільки ті країни, які дотримуються світових економічних тенденцій, можуть розраховувати на успіх у майбутньому.

Інноваційна діяльність як одна із форм інвестиційної діяльності здійснюється з метою впровадження досягнень науково-технічного прогресу у виробництво і соціальну сферу, що включає: випуск і розповсюдження принципово нових видів техніки і технології; прогресивні міжгалузеві структурні зрушення; реалізацію довгострокових науково-технічних програм з великими строками окупності витрат; фінансування фундаментальних досліджень для здійснення якісних змін у стані продуктивних сил; розробку і впровадження нової, ресурсозберігаючої технології, призначеної для поліпшення соціального і екологічного становища. Згідно концепції науково-технологічного та інноваційного розвитку національні інтереси України

вимагають негайних та ефективних заходів, спрямованих на збереження її науково-технічного потенціалу, забезпечення його ефективного використання для подолання кризових явищ у економічному та соціальному розвитку.

У зв'язку із стрімким розвитком науки і техніки розробка сучасних методів та методологій управління вимагає з кожним роком все більш технічного та математичного підходу до управління. Тому, останнім часом, поширюється використання методів системного аналізу у всіх напрямках сучасного менеджменту. Системний аналіз орієнтує дослідників, проєктувальників та управлінців не тільки на облік тих або інших закономірностей функціонування та розвитку складних систем, але й обов'язково на розробку методики організації процесу прийняття рішень.

Складна технічна система складається з двох складових: 1) зовнішнє оточення, яке містить вхід та вихід системи, зв'язок з зовнішнім середовищем; 2) внутрішнє середовище – сукупність взаємопов'язаних компонентів, які забезпечують процес впливу суб'єкта управління на об'єкт, переробку входу у вихід та досягнення цілей системи.

Застосування системного підходу в управлінні інноваційно-інвестиційними проєктами може бути основою для втілення нового системного розуміння механізмів взаємодії компонентів проєкту та досягнення системного ефекту цих компонентів. Сутність такого підходу в теорії управління ґрунтується також на розробці взаємопов'язаного комплексу математичних моделей, що поєднують усі цикли управління – від збору даних до вироблення управлінських рішень та команд, а також доведення їх до виконання. Комплекс математичних моделей містить моделі, які оптимізують виробничі рішення, моделі формування даних у послідовності, що відповідає технології управління виробництвом.

Таке застосування математичних методів дозволяє раціонально використовувати ПЕОМ у системах управління технічними об'єктами, забезпечуючи швидкий обмін даними під час вирішення складних управлінських задач.

Автоматизовані системи управління проектами створюються для успішного управління різними видами проектної діяльності, а також для підтримки прийняття рішень на всіх стадіях розробки та реалізації проекту. Однак всупереч постійному удосконаленню, враховуючи стрімкий розвиток обчислювальної техніки, ці системи все ще не можуть вважатися досить ефективним та гнучким засобом. Незважаючи на те, що менеджери проектів намагаються попередити виникнення проблем, вимагають від підрядників підтримки високих вимог до системи управління проектами, відставання у виконанні робіт та перевитрати коштів продовжують мати місце.

Оскільки в більшості випадків *система управління проектами* (СУП) здійснює складання графіків, розподіляє ресурси та засоби, то вона не враховує основні фактори, які обумовлюють більшість відставань в роботі та перевитрат. Враховуючи, що СУП не повністю виконує свої задачі, пропонується розглядати проект як компонент складної технічної системи та зосередитись на проблемах і динаміці, яка створюється зовнішнім середовищем системи [16].

Розглядаючи проект як систему провідними науковцями було проведено порівняння базових понять «система» і «проект» та визначена їх відносна змістовність [16,27]. Семантичний аналіз цих понять у структурованій формі з виділенням найбільш істотних загальних ознак, характерних рис (табл. 4.1), виявив що однакове семантичне навантаження мають такі категорії:

- комплекс компонентів - набір робіт;
- виборчий - унікальний;



- взаємодія - скоординовані, заданого утримання;
- спрямовані на одержання - спрямовані на досягнення;
- фіксований результат - заплановані цілі.

Таблиця 4.1

**Семантичний аналіз проєкту**

| Система   | Проєкт  |
|---|---|
| Комплекс вибірково залучених компонентів, у яких взаємодія і взаємовідносини набувають характеру взаємодії компонентів, спрямованих на одержання фіксованого корисного результату | Унікальний набір скоординованих робіт заданого бюджету з визначеними початковою і кінцевою датами, обмеженими вартістю і часом реалізації, що спрямовані на досягнення запланованих цілей по характеристиках тривалості, вартості і задоволенню учасників |

При цьому логічний взаємозв'язок цих категорій у визначеннях також практично ідентичний. Це дає достатньо основ для трансформації найбільш загальних принципів системного підходу в правила проєктного управління.

Початок СУП зазвичай пов'язують з системами PERT та CRM. Переваги, які забезпечують ці системи, дали поштовх до створення управління проєктами як науки. Якщо на першій стадії наголос робився на складанні графіків та розподіл ресурсів, то в подальшому були додані розподіл фінансів та контроль їх розподілу.

Значне підвищення ефективності пов'язане з використанням реляційних баз даних та якісних графічних засобів. Адаптований до користувача інтерфейс зменшив дистанцію між столом керівника та місцем, де відбувається проєктування.

В той же час, хоча використання цих засобів покращило контроль над проєктною діяльністю, однак це не торкнулося найбільш значних проблем, які виника-

ють між проектом та його зовнішнім середовищем. Методи контролю зазвичай торкаються тільки частини технічної системи, взаємодію та поведінку всіх компонентів повністю не описано, тому існуючі СУП не були в змозі допомогти у вирішенні проблем, які виникають у взаємодії проекту з компонентами іншої системи (вплив зовнішнього середовища, зміни нормативних положень, фінансові проблеми, політичні впливи).

Системне представлення проекту звичайно описується як процес переходу з початкового стану  $1$  (проблема) до бажаного фінального стану  $0$  (вирішення проблеми) (рис. 4.1).



**Рис. 4.1. Виконання проекту як моделі вхід-вихід**

У стані  $0$  всі більш або менш очікувані результати процесу «виконання проекту» можуть бути одержані у ході реалізації всього процесу. Вони є конкретними (продукція, організація та ін.), абстрактними (плани, знання, досвід, емоційний стан та ін.), або обох типів. Вони можуть бути поділені на результати під час процесу (задоволення учасників, набуття досвіду) та результати у кінці процесу (кінцевий продукт, стан знань). Таким чином результат процесу є дещо більше ніж кінцевий продукт - це система цілей, які повинні бути досягнуті у ході виконання проекту та враховують всі сторони процесу одержання результату.

Відомо, що процес вирішення проблеми – виконання проекту – має свій життєвий цикл. Існує багато визначень життєвого циклу [8,16, 86], але звичайно виділяються такі фази: передінвестиційна фаза, розробка проекту, реалізація, завершення та експлуатація. Ці фази можуть бути використані для будь-яких проєктів, незалежно від їх типів.

З точки зору управління в кожній фазі існує управлінська функція, яка протистоїть функції реалізації. Це процесно-орієнтовані фази проектів неідентичні різним станам життєвого циклу систем, які починаються зі стану «ще не існує» та закінчуються «вже не існує». Виділяють такі фази життєвого циклу систем: концепція (визначення вимог до системи); визначення системи (проектування); виробництво (матеріалізація); введення в дію (впровадження, запуск); експлуатація (функціонування); зупинка (вивід з експлуатації); зміна (монтаж, переробка, реконструкція).

Ця концепція життєвого циклу є корисною моделлю структуризації повного процесу виконання проекту. Але вона не може бути ефективною схемою виконання проектів як науки, оскільки кожна фаза життєвого циклу об'єктної системи впливає на всі наступні. Завжди необхідно мати на увазі повний життєвий цикл об'єкту, якщо бажаємо діяти системно та всебічно. Проект може стосуватися як однієї, так і декількох пов'язаних фаз життєвого циклу об'єктної технічної системи. Зважаючи на це виділяється три типи систем, які відомі в сучасних умовах управління проектами.

*Діюча система* звичайно розглядається як проектна організація, тобто система з такими властивостями: відкритість, динамічність, змінність, самоорганізація.

*Система діяльності* як проектний процес являє собою абстрактну систему дій, що плануються або виконуються, які описують поведінку організації. Така система має такі властивості: цілеспрямованість, раціональність, складність та новизна.

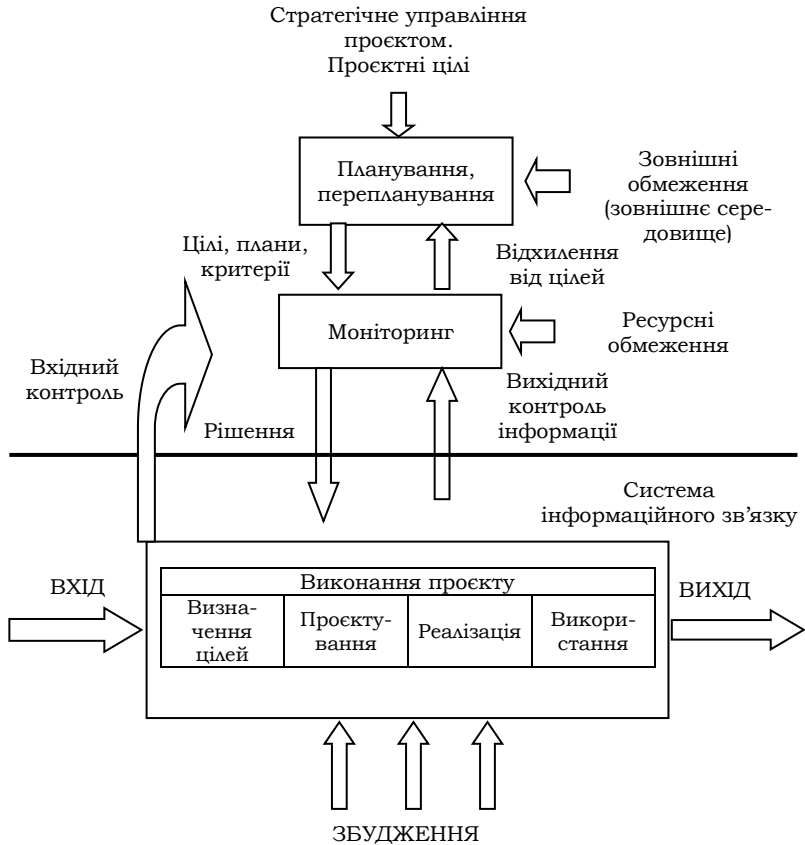
*Система цілей* містить очікувані результати, результати які заплановані або які вимагаються у ході виконання та наприкінці проекту. Результат інноваційно-інвестиційного проекту завжди знаходиться у деякому матеріальному стані з початку проекту та в його ході перетворюється у необхідний результат, включаючи продукцію, яка є головною ціллю проекту.

Слід відзначити, що ці системи взаємопов'язані. Якщо розглядається проєктна організація тільки з точки зору того, що відбувається у системі, то мається на увазі система діяльності. А якщо розглядається проєктна організація тільки з точки зору різних потоків (вхід, перетворення, вихід) у формі інформації (цілі, очікування), то мається на увазі система цілей. Система діяльності, так як і система цілей, є аспектною організацією системи в цілому – діючої системи, тобто проєктної організації, яка діє, виходячи зі стану об'єктів, самоорганізує себе, виробляє результати під час всього процесу та оцінюється зовнішнім середовищем.

Будь-яка система може бути визначена і оптимізована тільки при розгляді взаємодій та взаємозалежностей зі своїм зовнішнім та внутрішнім середовищем. Вважається, що оптимізація системи передбачає проєктування оптимального впровадження системи у відповідне їй зовнішнє середовище. Проєктна організація діє на основі обміну між потребами соціальних компонентів системи проєктної команди та потребами зовнішнього середовища системи в цілому.

Під час аналізу учасників звичайно виділяються такі елементи: материнська компанія (верхній рівень керівництва, функціональний відділ, інші проєкти); клієнт, споживач (користувач, посередник, спонсор, акціонери, інвестори); джерело фінансування (власники компаній, акціонери, інвестори); субпідрядники, партнери (постачальники, консультанти); соціально-культурно-політичне середовище (влада, засоби інформації, спільнота); економіко-технічне середовище (конкуренти, ринок, технології); природна сфера (групи активістів, різні втручання).

Деталізована системна модель управління проєктами на основі зворотного зв'язку представлена на рис. 4.2.

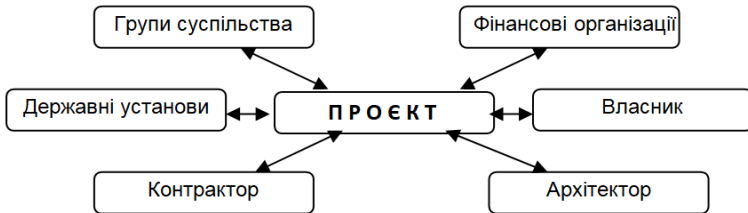


**Рис. 4.2. Системна модель управління проектами**

Існує інший підхід до створення моделей управління проектами [27]. Звичайно такі моделі базуються на прогресивних методах системного аналізу, в якому виділяються такі аспекти: структурний, динамічний та інформаційний. Цей метод може бути поділений на три рівня:

*Перший рівень* - ідентифікація системних об'єктів. Здійснюється представлення структури системи в цілому шляхом виділення всіх основних об'єктів, які взаємодіють з проектом.

Як показано на рис. 4.3, проєкт буде представлений одним структурним елементом, а зовнішнє середовище одним або декількома елементами, кожний з яких представляє фізичний об'єкт або фізично обмежену сукупність об'єктів, які можуть існувати у даний час або очікується їх виникнення під час виконання проєкту.



**Рис. 4.3. Загально-системне представлення проєкту**

Цей рівень також містить перелік результатів, одержаних проєктом від зовнішнього середовища та які виробляються самим проєктом для зовнішнього середовища. Після загального представлення системи проєкт деталізується в структуру нижчого рівня, яка відображує зв'язки основних елементів проєкту з його результатами. Такими елементами можуть бути проєктування, постачання, група управління та сама СУП.

*Другий рівень* - аналіз потенційних впливів. Після визначення об'єктів системи та загальних потоків результатів можна аналізувати взаємодії на нижньому рівні. По-перше, детально перечислити результати, які кожен елемент одержує від інших елементів структури. При цьому передбачається, що кожен елемент функціонує під впливом входу та виробляє результат, який є входом для інших елементів структури. Цей процес приводить до кращого розуміння взаємодій між об'єктами системи і потенційних місць виникнення конфліктів. Якщо рівень аналізу такий, що не-

обхідно розробляти комп'ютерні коди, то слід підготувати більш детальну діаграму процесу. Заключним етапом цього рівня є аналіз структурної моделі і взаємодій, деталізованих в інформаційній таблиці.

*Третій рівень* - прийняття рішення. Кінцевий етап містить конструювання організаційних процедур та засобів, які ефективно впливають на управління проектом і на усунення оперативних проблем.

Описаний метод аналізу може використовуватися для визначення ключових елементів в складних ситуаціях управління проектами та допомагає при прийнятті оптимальних рішень. Даний підхід пересуває основу з механістичних аспектів конструювання СУП на реальні фактори, які визначають дійсний успіх проекту.

Інший підхід до побудови моделей СУП ґрунтується на різних декомпозиційних структурах та взаємодіях компонентів. Пропонується створення моделі СУП як схеми компонентів знань про проектне управління. Така модель знань по проектному управлінню представлена у формі трьох вимірювань.

Вимірювання 1. Розподіл у відповідності зі звичайними фазами управління проектом: управління проектом; початок та перебудова проекту; поточне управління та узгодження; криза; закінчення проекту.

Вимірювання 2. Розподіл у відповідності з різними системами: стратегічне управління проектом – управління взаємодій з зовнішнім середовищем проекту; оперативне управління проектом – управління проектним процесом; інструментальне управління проектом; технічне управління проектом.

Вимірювання 3. Розподіл у відповідності з різними функціями управління: планування; контроль (регулювання, підтримка); організація і підбір кадрів.

Таким чином кількість підходів до побудови системних моделей процесів управління проектами показує, що це є основний напрямок вирішення питань ефективного управління проектами на всіх стадіях його життєвого циклу.

Такі підходи використовуються також для формування функціональної структури СУП. Запропонована методика формування функціональної структури СУП дозволяє здійснити класифікацію задач та процедур можливих при управлінні проектом. В якості методологічної основи для визначення та розробки змісту робіт з реалізації комплексів процесів управління проектом пропонується використовувати наступні елементи системної моделі СУП [27]:

- суб'єкти управління (Z);
- команда управління проектом (L);
- об'єкти управління – проекти, програми (Q);
- фази життєвого циклу об'єктів управління проектами (C);
- стадії процесу управління (F).

*Системна модель управління проектом* являє собою згорнуте дерево множини задач та процедур, які теоретично можуть здійснюватися при управлінні проектами. Як видно з системної моделі управління проектом кожен процес однозначно визначається компонентами всіх рівнів системної моделі «знизу вверх».

Якщо обрати по одному елементу з кожного рівня системної моделі та розглянути їх послідовно, починаючи з нижчого рівня - «стадії процесу управління» та дійти до верхнього рівня «суб'єкти управління», одержимо постановку задачі, можливу при здійсненні проекту. Умови такої задачі обумовлюються елементами, крізь які пройшов шлях системної моделі.

Так, наприклад, задача (P) – «планування (F), фінансування (S) річного обсягу робіт (T) на етапі розробки (C) проекту (Q) для менеджера проекту (L) та замовника (Z)» визначається багатомірним вектором:

$$P_n = \langle F2; S3; T2; C2; Q1; L2; Z2 \rangle.$$

Системне представлення задач управління проектами, структурованих за елементами запропонованої моделі, дозволить забезпечити повноту вирішуваних задач, їх інформаційний взаємозв'язок та логіку процесів, що відбуваються.



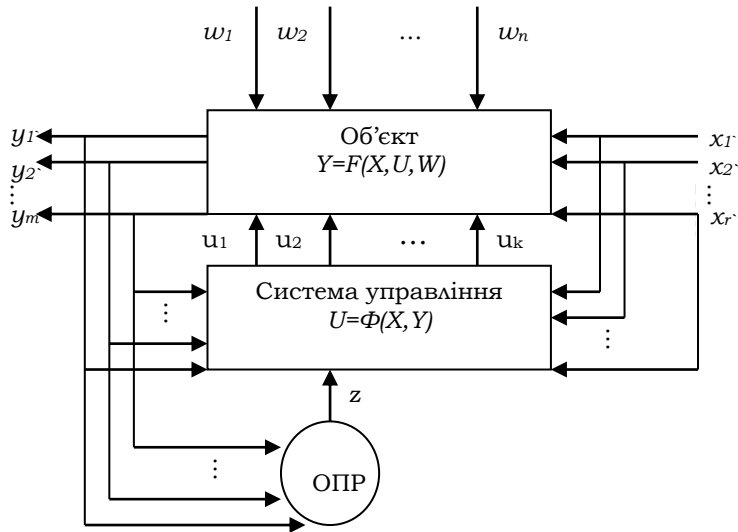
Таким чином розглянуті роботи з представлення та побудови системних моделей управління проектами допомагають дійти висновків, що моделювання систем управління проектами є методологічним інструментарієм для системного проектування цілісної інтегрованої системи управління інноваційно-інвестиційними проектами.

Розглядаючи особливості управління проектом як організаційно-економічною системою з активними елементами слід зазначити, що вирішення питання про необхідність представлення об'єкту у вигляді системи та застосування системного аналізу для його дослідження, проектування або організації процесів управління ним, залежить від того, яка невизначеність у поставленій задачі має місце на початковому етапі її визначення.

В свою чергу ця невизначеність залежить від ряду факторів: від необхідної та достатньої для конкретизації задачі деталізації опису об'єкту або ситуації прийняття рішень, від точності рішення, можливості одержання достовірної та точної інформації, принципів особливостей об'єкту. Тому більшість задач, які виникають при управлінні галузями, регіонами, підприємствами та іншими організаційно-економічними об'єктами, а також при управлінні складними проектами, виникають через необхідність системного аналізу, хоча у деяких випадках ці задачі можуть бути вирішені традиційними математичними або економічними методами.

Основна особливість застосування системного підходу полягає в тому, що він орієнтує проектувальника не на формування закінченої моделі об'єкту або процесу прийняття рішення, а на розробку методики, яка містить засоби, що дозволяють поступово формувати модель, обґрунтовуючи її адекватність на кожному кроці формування із участю(особи, що приймає рішення (ОПР)).

В загальному вигляді задача управління організаційно-економічними об'єктами представлена на рис. 4.4 [27].



**Рис. 4.4. Системна модель представлення задачі управління**

На об'єкт управління впливають  $(n+r)$  входів, причому значення входів  $x_i$  можна оцінювати у кожний момент часу, а для входів  $w_i$  така можливість відсутня. Частіше це впливи зовнішнього середовища, які не вимірюються. Об'єкт має  $t$  виходів. Вважається, що між вхідними векторами  $X, W$  та вихідним  $Y$  є деякий зв'язок  $Y=f(X, W)$ . Цей зв'язок може мати самі різні характеристики: він може бути функціональним, статистичним, у вигляді неоднозначного відображення та ін.

Для особи, яка приймає рішення(ОПР), важливо досягти одержання визначених значень  $Y$  при будь-яких значеннях  $X$  та  $W$ . Це робиться за допомогою спеціальних керуючих впливів  $u_i$ , які подаються від системи управління на об'єкт.

Подібно векторам  $X$ ,  $W$ , значення вектору взаємодій  $U$  впливають на значення вектору  $Y$ . Іншими словами виникає співвідношення  $Y=F(X,U,W)$ . Задача ОПР – зробити систему управління такою, щоб при наявності інформації про поточні значення  $X$  досягти таких значень  $Y$ , які влаштовують ОПР. Це означає, що система управління реалізує деяку залежність виду  $U=\Phi(X,Y)$ , за допомогою якої вона знаходить необхідні методи впливу на об'єкт. Якщо ОПР не задоволено своїм результатом, воно може корегувати його функціонування. На рис 4.4. ця можливість показана у вигляді подавання на систему корегуючого вектору  $Z$ . Якщо ця корекція не приводить до цілі або неможлива, то ОПР може змінити систему управління.

Для побудови задовільної системи управління ОПР повинно враховувати два аспекти: множину переважних векторів  $Y$  та як задане відображення  $f$ . Відображення  $f$  описує функціонування об'єкту управління. Відтак ОПР необхідно знати опис об'єкту (тобто його структури функціонування), яким він збирається керувати, та цілі існування даного об'єкту. Знаючи це, він може сформулювати критерій управління, в якому відтворюються вимоги до систем управління. Відображення  $\Phi$  на рис. 4.4. являє собою критерій управління об'єктом. Він може бути різним: максимізація або мінімізація якихось значень вектору  $Y$ , їх підтримка у заданих межах, недопущення деяких комбінацій цих значень та ін. Але саме наявність критерію управління дозволяє ОПР ставити та вирішувати традиційну задачу управління об'єктом.

Звичайно після ідентифікації об'єкту виникає питання адекватності одержаної моделі. При проектуванні технічних пристроїв адекватність моделі доводиться експериментально. У випадку задач організації та реалізації організаційно-економічних систем проблему доведення адекватності готової моделі практично неможливо вирішити, і основним за-

собом вирішення цієї проблеми стає методика системного аналізу. Крім цього в економіці є задачі, які у принципі не можуть бути формалізованими. В управлінні проектами це такі задачі як:

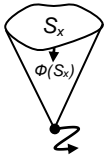
- розробка концепції проекту (підготовка техніко-економічного обґрунтування та бізнес-плану);
- розробка всіх видів планів за проектом;
- розробка організаційної та виробничої структур управління проектом;
- розробка автоматизованих систем управління проектами, їх підсистем та баз даних.

#### 4.2. Огляд задач та методів формалізації проектних систем

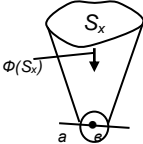
Для рішення відзначених та інших задач управління проектами основи системного аналізу пропонують методи формалізованого представлення систем, наведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

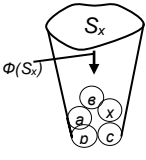
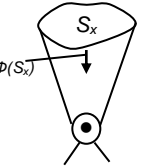
##### Методи формалізованого представлення систем

| Назва класу методів та символічний «образ»   | Основна термінологія та приклади   | Сфера та можливості застосування   |
|--|--|--|
| 1  | 2  | 3  |
| <p>Аналітичні методи</p>  | <p>Методи, у яких ряд властивостей багатомірної, багато-зв'язної системи відображується у n-мірному просторі однією єдиною точкою, яка здійснює рух. Це відображення здійснюється за допомогою функції <math>f(Sx)</math>, або за допомогою оператора (функціоналу) <math>\Phi[Sx]</math>.</p> | <p>Застосовуються у випадках, коли властивості системи можна відобразити за допомогою детермінованих величин або залежностей. Ці методи використовуються при</p> |

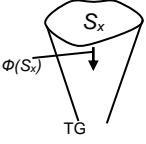
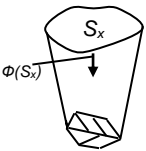
Продовження табл. 4.2

| 1   | 2   | 3  |
|---|---|--|
|   | <p>Можна також дві або більше системи або їх частини відобразити точками та розглядати взаємодії цих точок, кожна з яких здійснює рух та має свою поведінку. Поведінка точок та їх взаємодія описується аналітичними закономірностями.</p>  | <p>вирішенні задач руху та сталості, оптимального розміщення, розподілу робіт, ресурсів, вибору найкращого шляху, оптимальної стратегії поведінки у конфліктних ситуаціях та ін.</p>   |
| <p>Статистичні методи</p>  | <p>Відображення системи в загальному випадку можна представити у вигляді «розмитої точки» в n-мірному просторі, у яку приводить систему керівник <math>\Phi[S_x]</math>. «Розмиту» точку слід розуміти як деяку область, яка характеризує рух (поведінку) системи; при цьому межі області задані з деякою вірогідністю, а рух точки визначається випадковою функцією. Закріплюючи параметри всі, крім одного, можна одержати зріз за лінією a-b, фізична суть якого – вплив даного параметру на поведінку системи, що можна описати статистичним розподілом за цим параметром. Аналогічно можна</p> | <p>Відображення дозволили розширити області застосування ряду дисциплін, які виникли на базі аналітичних представлень: статистична теорія розпізнання образів; стохастичне програмування; нові розділи теорії ігор; теорія обслуговування; теорія статистичного аналізу та ін. При застосуванні статистичних представлень процес постановлення задачі частково замінюється статистичними дослідженнями, які дозволяють на основі вибіркового дослідження одержати статистичні закономірності та розповсюд-жувати їх на поведінку системи в цілому. Однак у ряді випадків для</p> |

Продовження табл. 4.2

| 1   | 2   | 3  |
|---|---|--|
|   | <p>одержати двомірну та трьохмірну і т. д. картини статистичного розподілення.</p>  | <p>одержання статистичних закономірностей необхідні неприпустимо великі витрати часу, що також обмежує можливості їх застосування.</p>   |
| <p>Теоретико-множинні представлення</p>  <p>The diagram shows a funnel-shaped container labeled <math>S_x</math> at the top. Inside the container, there are five small circles representing elements, labeled <math>a</math>, <math>b</math>, <math>c</math>, <math>x</math>, and <math>y</math>. An arrow labeled <math>\phi(S_x)</math> points downwards from the top of the container.</p> | <p>Система відображається у вигляді сукупності різнорідних множин та відношень між ними. Множини можуть бути задані двома способами: перерахуванням елементів <math>\{a_1, a_2, \dots, a_n\}</math> та назвою характеристичної властивості – наприклад множина <math>A</math>.</p>  | <p>При теоретико-множинному представленні систем та процесів можливо вводити будь-які відносини. Представлення служать мовою, за допомогою якої полегшується взаєморозуміння між представниками різних областей знань та є основою для виникнення нових наукових напрямів, для створення мов моделювання, мов автоматизації проєктування.</p>        |
| <p>Логічні методи</p>  <p>The diagram shows a funnel-shaped container labeled <math>S_x</math> at the top. Inside the container, there is a single small circle representing an element. An arrow labeled <math>\phi(S_x)</math> points downwards from the top of the container.</p>  | <p>Логічні представлення переводять реальну систему та відносини на мову однієї з алгебр логіки, заснованих на застосуванні алгебраїчних методів для законів нормальної логіки. Найбільшого розповсюдження одержала бінарна алгебра логіки Буля. Алгебра логіки дозволяє перетворювати систему з одного опису в інший для її удосконалення,</p> | <p>Застосовуються при дослідженні нових структур систем різної природи (технічних та економічних об'єктів, текстів та ін.), у яких характер взаємодії між елементами ще не достатньо зрозумілий, щоб можна було представити їх аналітичними методами, а статистичні дослідження ускладнені, або не призвели до виявлення сталих закономірностей.</p> |

Закінчення табл. 4.2

| 1  | 2   | 3   |
|--|---|---|
|  | <p>одержати більш просту структуру, яка містить менше елементів, проте здійснює необхідні функції.</p>  | <p>Логічні представлення лежать в основі теорії алгоритмів.</p>   |
| <p>Лінгвістичні семіотичні представлення</p>  | <p>Лінгвістичні представлення базуються на поняттях тезаурусу <math>T</math> (тезаурус характеризує структуру мови); граматики <math>G</math> (правил утворення смислових елементів різних рівнів тезаурусу), семантики (смислового змісту фраз, речень), прагматики. Семіотичні представлення базуються на поняттях знаків, знакових систем, ситуацій. Для практичного застосування моделі можна розглядати як один клас методів формалізованого представлення систем.</p> | <p>Останнім часом ці представлення починають широко використовуватися для відображення та аналізу процесів в складних системах в тих випадках, коли не вдається застосувати відразу аналітичні, статистичні представлення або методи формальної логіки. На основі цих методів розробляють мови моделювання, автоматизації проектування та ін.</p> |
| <p>Графічні представлення</p>               | <p>До графічних представлень віднесені будь-які графічні об'єкти (графіки Ганта, діаграми, гістограми та ін.), які виникли на основі графічних відображень теорії: теорія графів, теорія сітьового планування та управління та ін.</p>  | <p>Графічні представлення є зручним засобом дослідження структур та процесів в складних системах та вирішення різного розу організаційних питань у інформаційно-управлінських комплексах. Широке використання на практиці одержала теорія сітьового планування і управління.</p>  |

У наведеній класифікації виділяються такі узагальнені групи (класи) методів: *аналітичні* (методи класичної математики, включаючи інтегровано-диференційне числення, методи пошуку екстремумів функцій, варіаційне числення та ін.); методи математичного програмування; теорії ігор; статистичні (містять теоретичні розділи математики – теорію ймовірностей, математичну статистику, та напрямки прикладної математики, використовуючи стохастичні представлення – теорію масового обслуговування, методи статистичних випробувань (засновані на методі Монте-Карло), та інші методи статистичного імітаційного моделювання); *теоретико – множинні, логічні, лінгвістичні, семіотичні* представлення (методи дискретної математики), які складають теоретичну основу розробки мов моделювання, автоматизації проектування, інформаційно-пошукових мов; *графічні* (містять теорію графів та різного роду графічні представлення інформації типу діаграм та ін.).

Зрозуміло, що в таблиці 4.2 наведені тільки великі групи – напрямки, конкретні методи яких тільки в початковому періоді розвитку характеризуються описаними особливостями. Крім того, в математиці постійно виникають нові напрями на «перетині методів», віднесених до наведених груп. Наведена таблиця допомагає практично зрозуміти особливості конкретних методів, які використовують засоби того або іншого напрямку або їх поєднання, допомагає обирати методи для конкретних задач. Для зручності вибору методів вирішення реальних практичних задач на базі математичних напрямків розвиваються також прикладні моделі і пропонуються їх класифікації.

Так, існують різні класифікації математичних методів, узагальнення яких наведено в табл. 4.3. Ця класифікація включає прикладні напрямки, що базуються, в основному, на використанні аналітичних і статистичних представлень. Однак деякі з них (моде-



лі об'ємного і календарного планування, потокові моделі) використовують графічні методи (сітьове моделювання), а іноді для попереднього опису задачі – теоретико-множинні представлення.

З розвитком автоматизованих систем збору, збереження і пошуку інформації з'явилася потреба в розробці класифікацій методів роботи з інформаційними масивами. Одна з таких класифікацій наведена в нижній частині табл. 4.3. Ці класифікації базуються на використанні методів дискретної математики, графічних і теоретико-множинних представлень з елементами математичної логіки.

При виборі методу моделювання для постановки принципово нових задач з великою початковою невизначеністю зручно пов'язати класифікацію методів формалізованого представлення з класифікацією систем.

Зокрема, наведену в табл. 4.3. класифікацію методів формалізованого представлення систем можна зв'язати з класифікацією систем за ступенем організованості: якщо попередній аналіз проблемної ситуації показує, що вона може бути представлена у виді добре організованих систем, то можна обирати методи моделювання з класів аналітичних і графічних методів; якщо фахівці з теорії систем і системного аналізу рекомендують представити ситуацію у вигляді погано організованих чи дифузійних систем, то варто звернутися насамперед до статистичного моделювання, а якщо не вдасться довести адекватність її застосування, то шукати закономірності в спеціальних методах (наприклад, в економіці, соціології і т.п.); при представленні ситуації класом систем, що самоорганізуються, варто застосовувати методи дискретної математики, розробляючи на їх основі мови моделювання та автоматизації проектування, і, як правило, - формувати модель на основі поєднання методів.

Таблиця 4.3

**Зіставлення методів формалізації систем**

| Класифікації методів моделювання           | Методи моделювання |             |                    |         |              |          |
|--|--------------------|-------------|--------------------|---------|--------------|----------|
|  | Аналітичні         | Статистичні | Теоретико-множинні | Логічні | Лінгвістичні | Графічні |
| <i>Економіко-математичні методи</i>        |                    |             |                    |         |              |          |
| Виробничі функції                          | +                  | +           |                    |         |              |          |
| Балансові моделі                           | +                  |             |                    |         |              |          |
| Імітаційне моделювання (Монте-Карло)       |                    | +           |                    |         |              |          |
| Моделі об'ємного планування                |                    |             | +                  |         |              |          |
| Моделі календарного планування             | +                  |             | +                  |         |              | +        |
| Потокові (транспортні) моделі              | +                  |             |                    |         |              | +        |
| Моделі розподілу і призначення             | +                  |             |                    |         |              |          |
| Моделі управління запасами                 | +                  | +           |                    |         |              |          |
| Моделі зносу і заміни обладнання           | +                  | +           |                    |         |              |          |
| Моделі масового обслуговування             |                    | +           |                    |         |              |          |
| Змагальні моделі                           | +                  | +           |                    |         |              |          |
| <i>Методи роботи з масивами інформації</i> |                    |             |                    |         |              |          |
| Організації масивів                        |                    |             | +                  | +       |              | +        |
| Обробки масивів                            |                    |             | +                  | +       |              |          |
| Пошуку інформації                          |                    |             | +                  | +       | +            |          |

Застосування описаних методів в управлінні проектами на даний час дістає все більше розповсюдження, однак практичне застосування при підготовці інформаційного забезпечення проєкту знайшли

тільки деякі методи детермінованого сітьового моделювання, деякі евристичні методи оптимального розподілу ресурсів та параметричні методи оцінки витрат та вибору проєктів. Крім того, існуючі моделі не завжди і недостатньо використовуються в СУП. Це відбувається за деякими причинами.

По перше – неадекватність моделей, яка виникає через розрив між теорією та практикою. Більшість розроблених моделей не мають в своїй основі виконаних прикладних досліджень.

По друге – недостатнє знайомство дослідника з реальними проблемами. Модель будується, виходячи не з суті процесу, а з наявного інструментарію, тобто розвиток нових моделей більше орієнтується на метод, а не на проблему.

По четверте – відсутність необхідних даних. На збір та підготовку даних не повинно йти багато часу та коштів.

По п'яте – обрані моделі та методи складають певний комплекс. Менеджер краще буде мати невирішену проблему, ніж моделі, які він не розуміє.

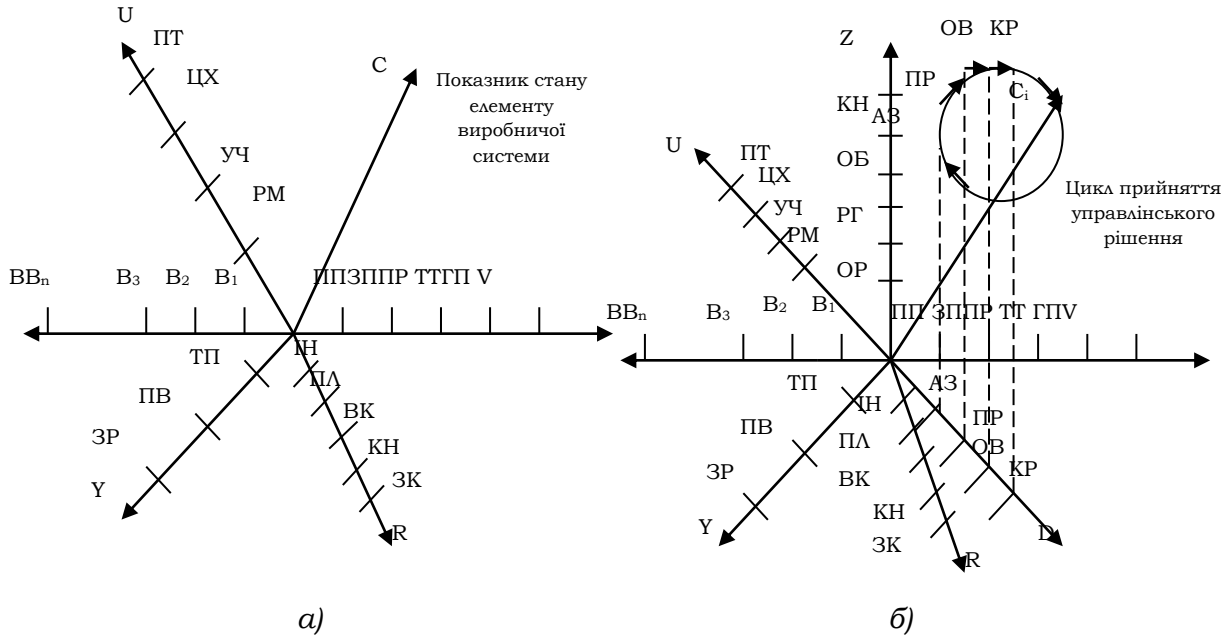
Проте розглянуті проблеми не зменшують загальну цінність використання моделювання в управлінні проєктами. Однак вони виявляють необхідність інтенсифікації прикладних досліджень. Важливу роль відіграє співпраця між розробниками програмного забезпечення, вченими та користувачами. Але цього також недостатньо для досягнення прогресу в управлінні проєктами. Необхідність розробки нових методичних підходів очевидна. У зв'язку із стрімкою комп'ютеризацією ці підходи повинні орієнтуватися на розробку нових систем, які допомагають приймати рішення на всіх стадіях життєвого циклу проєкту.

### **4.3. Методичні засади управління технічними проектами на основі принципів системного аналізу**

У загальному вигляді задача системного моделювання складних організаційно-технічних об'єктів зводиться до виділення найбільш характерних параметрів цих об'єктів та до кількісного опису взаємозв'язків між ними. Інноваційно-інвестиційний проект являє собою складний об'єкт для моделювання в силу статичної невизначеності і нелінійності організаційно-економічної системи, яку він утворює. Очевидно, що створити математичну модель об'єкта, яка враховує всі його особливості, дуже складно. При рішенні конкретних задач варто зосереджувати увагу на конкретних характеристиках об'єкта, виділяти головне і абстрагуватися від другорядного.

Для конкретизації характеристик об'єктів управління варто визначити показники стану цих об'єктів. Вони відображають, з одного боку, різноманітність цілей підприємства, а з іншого, – визначають необхідну різноманітність (складність) елементів об'єктів управління підприємством: засобів і предметів праці, трудових ресурсів; технологічних процесів; номенклатуру напівфабрикатів, готової продукції підприємства і його ланок [27].

Показники стану об'єктів управління виділяються відповідно до ознак структуризації цілей, що показано на рис. 4.5, а. Будь-яка точка багатомірного дискретного простору, утвореного осями ознак  $V$ ,  $Y$ ,  $B$ ,  $U$  структуризації об'єктів управління, відповідає деякому керованому показнику стану визначеного елемента об'єкта управління.



**Рис. 4.5. Осі ознак виділення функцій і задач управління на промисловому підприємстві при впровадженні інноваційно-інвестиційних проєктів:**  
**а) множина показників стану об'єктів управління;**  
**б) осі ознак виділення функцій та задач управління**

Структурування об'єктів управління на підприємстві (виробничих ланок) може проводитися відповідно до ознак структуризації цілей у такий спосіб: 1) по організаційних рівнях (вісь *U*, ознака *UR*): *PM* - робоче місце, *УЧ* - дільниця, *ЦХ* - цех, *ПТ* - підприємство; 2) по стадіях «життєвого циклу» продукції (вісь *Y*, ознака *STD*): *ТП* - технічна підготовка виробництва, *ПВ* - процес виробництва, *ЗР* - збут і реалізація продукції.

Як елементи в кожному об'єкті управління виділяються наступні структурні одиниці (вісь *V*): *ПП* – предмети праці (матеріали, сировина і т. п.); *ЗП* – засоби праці (устаткування, оснащення і т. п.); *ПР* – трудові ресурси (основні і допоміжні робітники, умови праці і т. п.); *ТТ* – технологія (технологічні операції, виробничі переділи і т. п.); *ГП* – продукт (готова продукція, напівфабрикати, послуги і т. п.).

Для визначення об'єкту дослідження в цій системі доцільно виділити ще одну структуру – структуру управління проектом (вісь *R*, ознака *PR*), яка відображує процеси управління проектом в структурі управління підприємством. Це такі процеси як: *ІН* – ініціалізація, *ПН* – планування, *ВК* – виконання, *КН* – контроль, *ЗК* – закриття.

Для відображення особливостей конкретного виробництва з урахуванням проектів, що реалізуються, при структуризації елементів об'єктів управління використовується номенклатурна ознака *NOM* (вісь *B*), відповідно до якої виділяються окремі властивості елементів виробничої системи. Стан входу або виходу будь-якого об'єкта управління на підприємстві можна описати визначеними класами (*KL*) і видами (*WID*) показників: 1) для виходів - техніко-технологічні показники продукту, споживчі показники продукту, економічні показники продукту; 2) для входів - показники стану технології і усіх видів ресурсів (характеристики виробничого процесу – трудових ресурсів, предметів праці, засобів праці; характеристики умов виробницт-

ва – забезпечення предметами праці, забезпечення засобами праці, забезпечення трудовими ресурсами).

Таким чином, будь-який показник стану об'єктів управління на підприємстві можна задати відповідно до ознак структуризації цілей послідовністю його якісних ознак *KL*, *STD*, *UR*, *WID*, *NOM*, *PR*, що відображує різноманітність об'єктів управління і властивостей їх елементів.

Використовуючи безліч виділених по елементах управління показників, модель стану і управління в цілому можна представити у вигляді багаторівневого і багаточарового «графа показників». Моделювання функцій та задач управління проектами здійснюється саме так, як і при моделюванні об'єктів управління. На рис. 4.5, б представлені осі ознак виділення функцій та задач управління проектами на промисловому підприємстві.

Додаткова ознака структуризації такого багатомірного дискретного простору по осі ознак - «цикл управління» - дозволяє виділити типовий склад функцій управління проектами та будь-якого елемента виробничої системи: *АН* – аналіз, *ПЛ* – планування, *ОР* – організація, *РГ* – регулювання, *ОБ* – облік, *КН* – контроль.

Кожна з функцій відбиває загальний зміст робіт на відповідному етапі «циклу управління». Для конкретизації цих робіт в умовах даного підприємства переходять до виділення в рамках кожної функції управління циклів прийняття рішень (задач управління). Цикл ухвалення проектного рішення може бути визначений як послідовність інформаційних, розрахунково-аналітичних, організаційно-розпорядницьких операцій, спрямованих на забезпечення деякої властивості керованого об'єкта (проекту). Використаємо групу ознак «цикл ухвалення рішення» (рис. 4.5, б, вісь *D*) для виділення наступних етапів циклу (назвемо їх «роботи управління»): *A3* – збір вихідних даних, аналіз ситуації, підготовка інформації до ухвалення рішення; *ПП* – планування поведіння, розробка альтернатив рішення, вибір, узгодження і твердження рішення; *ОБ* – організація

виконання рішення;  $KP$  – контроль і оцінка результатів виконання рішення. Тоді будь-яка точка багатомірного дискретного простору (утвореного осями ознак  $V, J, U, Y, Z, D, R$  на рис. 4.5, б) буде відповідати окремому етапу циклу ухвалення рішення.

Таким чином, використовуючи розглянуту модель багатомірного простору ознак структуризації функцій і задач управління проектами в умовах конкретного підприємства здійснюється формування складу об'єктивно необхідних задач управління, виходячи зі складності проєктів, що реалізуються.

Далі розробляються графічні моделі процесів управління проектами в системі управління підприємства. Для переходу від класифікатора задач управління проектами (складу задач управління) до моделей організаційного проєктування використовують схему, представлену на рис. 4.6, а [27].

Слід зазначити, що під *моделлю організаційного проєктування* розуміють функціонально-технологічну схему процесу управління проектами, що складається з безлічі інформаційно-взаємозалежних циклів прийняття рішень (задач управління). Якщо класифікатор (структурований список) задач управління відбиває тільки зміст процесу управління, то у функціонально-технологічній схемі (моделі управління) фіксуються і напрямки інформаційних потоків, що циркулюють між окремими циклами ухвалення рішення.

Крім того, модель управління проектами повинна відображувати ієрархічну багаторівневу будову керованого об'єкта, тому вона має багаторівневий характер побудови. Модель управління інноваційно-інвестиційними проєктами будується відповідно до визначених принципів і правил встановлення взаємозв'язку управлінських задач. На рис. 4.6, б представлена схема організації «циклів прийняття рішень» – по одному в кожній з функцій для  $c_i$ -го «показника стану» проєкту ( $ГП$ ) на  $k$ -му організаційному рівні по  $n$ -й стадії виконання.





Використовуючи модель об'єкта управління – «граф показників стану», – а також приведені вище правила і принципи встановлення інформаційних взаємозв'язків між задачами управління, можна здійснити побудову функціонально-технологічної моделі управління проектами як системи взаємозалежних циклів прийняття рішень по всіх проектах, що реалізуються на підприємстві.

Для переходу від функціонально-технологічної моделі до її формального аналога – «графу задач» – поставимо у відповідність кожній задачі управління деяку вершину  $A_i$ ; графа  $G(A, L)$ ,  $i=1, M$ , де  $M$  - кількість задач управління проектами, виділених у функціонально-технологічній моделі.

Інформаційні потоки між будь-якою парою відповідних задач управління  $(i, j)$  задамо у вигляді дуги  $l_{ij}$  графа  $G(A, L)$ ;  $l_{ij} \in L$ ,  $i, j=1, M$ ,  $i \neq j$ ; тут  $L$  – безліч дуг графа  $G(A, L)$ , що відповідає безлічі попарних інформаційних зв'язків між безліччю відповідних задач управління у функціонально-технологічній моделі. Отримаємо граф  $G(A, L)$  – «граф задач управління».

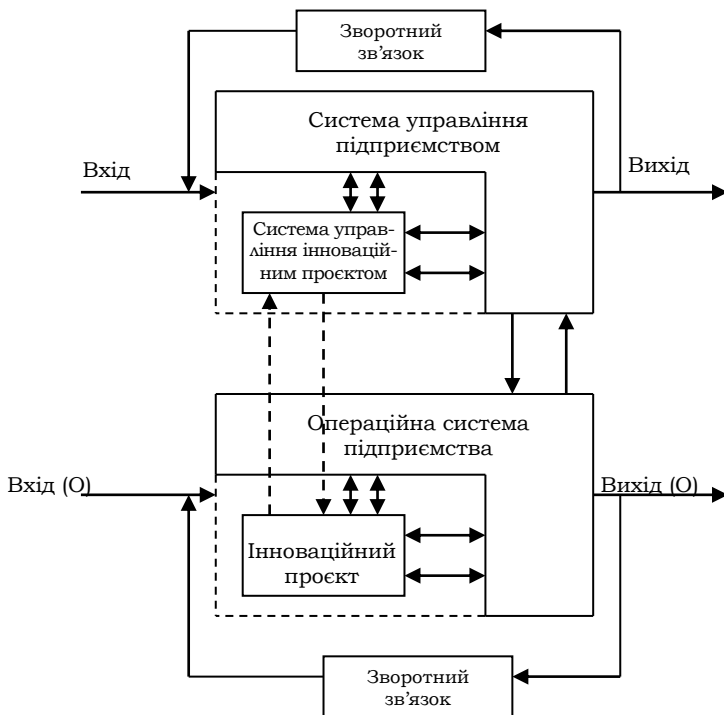
Отриманий у такий спосіб «граф задач» є формальним способом представлення об'єктивно необхідного в умовах конкретного підприємства складу задач управління проектами.

Система управління інноваційно-інвестиційними проектами тісно пов'язана з системою управління операційною діяльністю підприємства, на якому реалізується проєкт, оскільки вона завжди використовує ресурси підприємства, тим самим займає частину операційної структури підприємства (рис. 4.7) [7,27].

Окрім визначеного на рис. 4.8 місця в операційній системі підприємства інноваційно-інвестиційні проєкти являються інструментами реалізації стратегії підприємства.

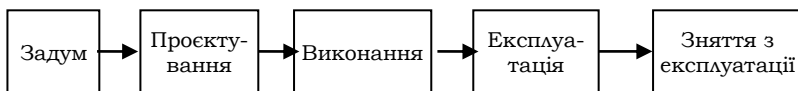
В процесі проєктування нова система повинна бути відпрацьована на папері. Іншими словами, необхідно розробити проєктно-кошторисну документа-

цію, техніко-економічне обґрунтування або бізнес-план. Цей етап також містить моделювання та випробування в умовах, наближених до умов експлуатації.



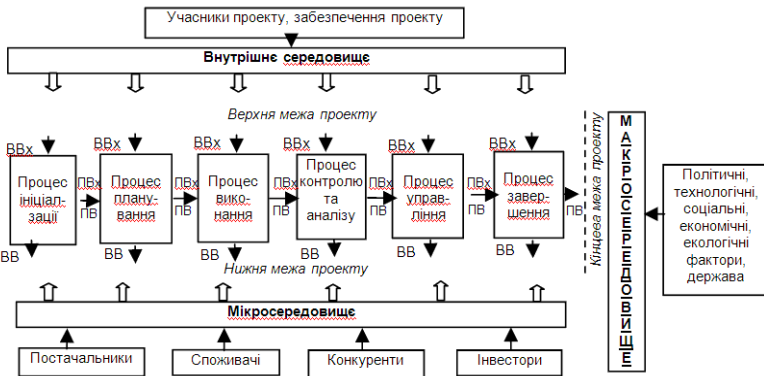
**Рис. 4.7. Зв'язок систем управління підприємством та інноваційно-інвестиційним проєктом**

Будь-яка система виникає не відразу і проходить етапи розвитку, основні з яких показано на рис. 4.8. Слід мати на увазі, що задумка або першопочаткова концепція нової складної системи ніколи не виникає в закінченому та відпрацьованому вигляді.



**Рис. 4.8. Основні етапи розвитку організаційно-техніко-економічних систем**

Ґрунтуючись на процесній концепції управління проектами для реалізації системного аналізу потрібно визначити границі процесів (входи і виходи). Причому первинні входи утворюють початкову границю процесу, вторинні входи - верхню границю, первинні виходи - кінцеву границю і вторинні виходи - нижню границю процесу (рис. 4.9).



**Рис. 4.9. Модель проекту як сукупності процесів<sup>1</sup>:**

↓↑ - окремі фактори; Вх - первинний вхід; ПВ - первинний вихід; ВВх - вторинний вхід; ВВ - вторинний вихід.

<sup>1</sup> - Групи процесів можуть бути сумісними у часі.

Всі процеси управління проектами взаємопов'язані між собою: виходи (результати) одних процесів є входами інших процесів. Вхід процесу - це ресурси, необхідні і достатні для реалізації процесу, тобто для отримання виходу. Входи є первинними (надходять на початку процесу) і вторинні (з'являються в ході реалізації). Вихід процесу - це результати реалізації процесу. Бувають первинними (запланований результат) і вторинними (побічний продукт). При цьому процеси можуть бути основними (процеси поточної діяльності, результатом яких є виходи, які потребують клієнти) і допоміжними (процеси, які забезпечують успішну реалізацію основних процесів).

У ході реалізації на проєкт буде діяти ряд факторів внутрішнього і зовнішнього середовища. Як бачимо з наведеної моделі на процеси можуть впливати як спільні, так і окремі фактори.

Загалом загальну модель проєкту (M) можна представити у наступному вигляді [27]:

$$M=f(P, W, R),$$

де  $P$  – множина компонентів,  $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , де  $p_i$  – компоненти проєкту;  $W$  – множина робіт,  $W=\{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ , де  $w_i$  – окремі роботи;  $R$  – множина зв'язків,  $R=\{r_1, r_2, \dots, r_k\}$ , де  $r_k$  – окремий зв'язок.

Тут величина  $r_{ij}\{q_i, w_i, w_j\}$ , де  $q_i$  – тип зв'язку,  $w_i, w_j$  – пов'язані роботи. При цьому параметр  $q_i$  відображає інформацію про технічну затримку або суміщення робіт  $w_i, w_j$ . В результаті реалізації моделі вхідні компоненти ( $P$ ) перетворюються у вихідні (результат проєкту).

Для забезпечення повноти аналізу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища, які впливають на реалізацію проєкту, доцільно використовувати закономірність комунікативності, у відповідності з якою у складі складного середовища виділяють: надсистему проєкту, підвідомчу систему, актуальне та внутрішнє середовище (рис. 4.10).

Надсистема визначає вимоги до продукту проєкту, задає обмеження і споживає результати цієї діяльності (замовник, інвестор). Підвідомча система забезпечує діяльність по проєкту матеріальними, кадровими, інформаційними та іншими ресурсами (базове підприємство, інвестори). Системи, що знаходяться в рівноправних відносинах із проєктом, – це актуальне середовище, в якому можна виділити дружнє, конкурентне і байдуже середовище. Внутрішнє середовище існує в системах, що самоорганізуються, у формі ініціатив чи елементів створюваних ними перешкод.



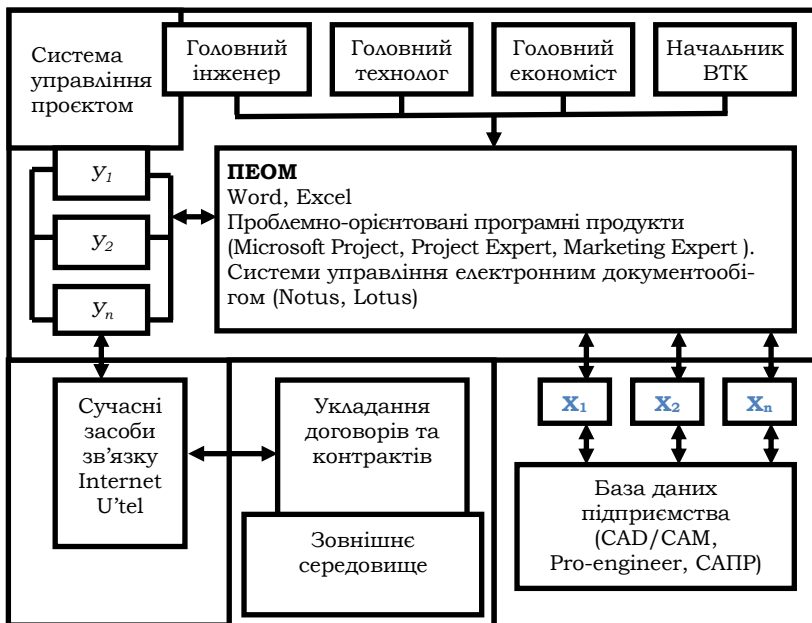
**Рис. 4.10. Системне представлення оточення проекту**

#### **4.4. Інформаційна система управління технічним проектом**

Сформований напрямок використання системного підходу при плануванні складних організаційно-технічних проектів звичайно розрізняє два види представлення системи: розглядається функціонування системи, як одного показника, на який впливають різноманіття факторів та умов; загальний – коли передбачається наявність комплексу різних аспектів (технічних, економічних, політичних, соціальних, психологічних та ін.), на які впливають багато

різноманітних факторів. При першому способі система розглядається, як «чорна скриня» з безліччю входів та одним, або декількома виходами, а при іншому способі – систему розділяють на деяку сукупність взаємопов'язаних елементів, але при цьому також важливо виділити саму систему.

У рамках системного моделювання була створена інформаційна модель управління проектом, структура якої має вид (рис. 4.11).



**Рис. 4.11. Структура інформаційної моделі управління підприємством при реалізації інноваційно-інвестиційних проектів**

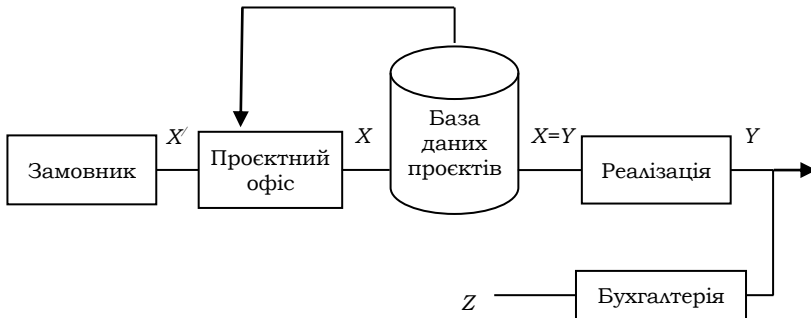
Інформаційна система містить у собі 3 підсистеми: система підприємства, система управління інноваційно-інвестиційними проектами і система зовнішнього середовища. При моделюванні роботи цих систем використовують відомі математичні залежно-

сті, але при цьому процес взаємодії їхніх компонентів вивчений недостатньо повно, а з'ясування й опис такого процесу є актуальною задачею.

У загальному вигляді процес взаємодії систем можна представити в такий спосіб. Вихідна інформація про результати діяльності виробничих підрозділів надходить з бази даних підприємства у вигляді вхідних параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (інформація про продукцію, правова база підприємства і т.д.) до інформаційної бази даних команди проекту.

Учасники команди проекту здійснюють свою діяльність за допомогою ПЕОМ із встановленим спеціальним програмним забезпеченням. Результатами такої діяльності є вихідні параметри  $y_1, y_2, \dots, y_n$  (ТЕО або бізнес-план проекту, поточні плани, та структури управління проектами). Використовуючи сучасні засоби зв'язку, команда проекту виконує функціональні задачі, та здійснює зв'язок з зовнішнім середовищем для укладання договорів та контрактів.

З метою удосконалення процесу управління проектами на підприємстві прийнята системна методологія та розроблена кібернетична модель управління проектами на підприємстві (рис. 4.12) [27].



**Рис. 4.12. Кібернетична модель управління проектами:**

**$X, Y$  - відповідно вхідні і вихідні параметри системи;  $Z$  - сигнал зворотного зв'язку**



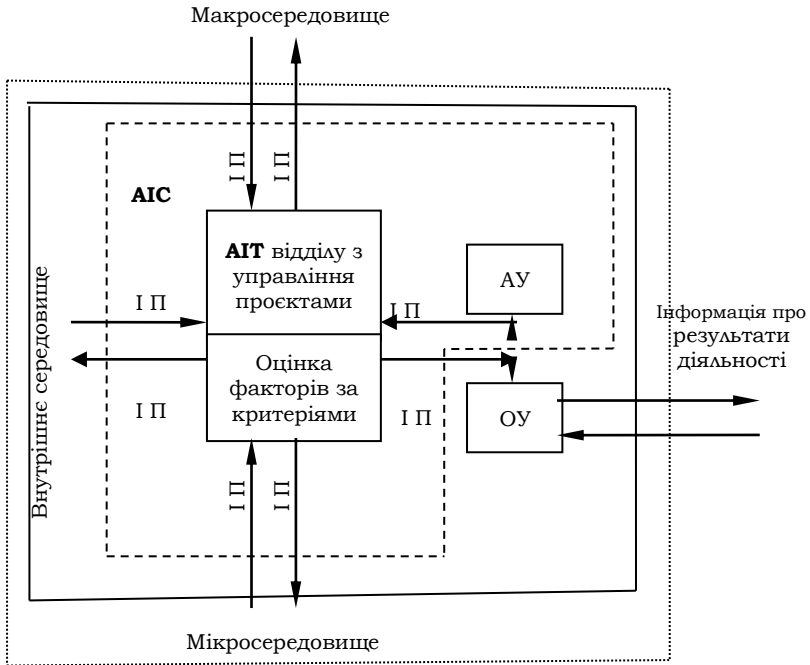
На представленій моделі виділені такі підсистеми першого рівня управління: зовнішня система (замовник), система договорів і замовлень та система управління проектами. Система договорів та замовлень одержує замовлення із зовнішнього середовища та у результаті своєї діяльності формує вхідні параметри для спеціалістів з управління проектами і заносить їх у базу даних проєктів. Фахівці відділу управління проектами, виконуючи свої функції, за допомогою ПЕОМ одержують вихідні параметри системи управління проектами. Кількісну оцінку результатів реалізації проєкту виконує бухгалтерія. Вихідні параметри системи частково виходять у зовнішнє середовище, а частково знову повертаються в базу даних відділу, а звіди надходять у відділ договорів та замовлень. У такий спосіб здійснюється зворотній зв'язок описаної системи.

Далі виникає необхідність створення *автоматизованих інформаційних систем* (АІС) управління. За допомогою АІС забезпечується багатоваріантність розрахунків, приймаються раціональні управлінські рішення, організовується комплексний облік, економічний аналіз, тощо. До складу типової АІС входить *автоматизована інформаційна технологія* (АІТ) – системно організована для вирішення задач сукупність методів та засобів реалізації операцій збору, реєстрації, передачі, накопичення, пошуку, обробки та захисту інформації.

Для роботи АІС використовують потоки внутрішньої та зовнішньої інформації. Принципи створення сучасних АІС та АІТ наступні:

- 1) системність і логічність;
- 2) широке застосування економіко-математичних методів;
- 3) використання нових методів та програмних модулів;
- 4) адаптація всіх елементів системи в цілому;
- 5) декомпозиція системи на ряд задач.

Наведемо структуру інформаційних потоків по проєкту (рис. 4.13) і дамо її визначення.



**Рис. 4.13. Інформаційні потоки відділу з управління проєктами на підприємстві: ІП - інформаційні потоки; АУ - апарат управління; ОУ - об'єкт управління**

Визначимо зовнішні та внутрішні інформаційні потоки (ІП) та необхідне матеріально-технічне забезпечення як входні параметри системи. При цьому інформаційні потоки про результати діяльності системи визначені як вихідні параметри.

Представимо входні і вихідні інформаційні потоки першого рівня управління в системі управління проєктами (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

**Вхідні та вихідні інформаційні потоки СУП**

| Вхідні дані для СУП  |  | Вихідна інформація СУП   |
|--|--|--|
| Вхідна інформація для СУП, яка надходить із системи підприємства   | Вхідна інформація для СУП, яка надходить із зовнішнього середовища:  |  |
| 1  | 2  | 3  |
| <p><math>X_1</math> - проект;<br/> <math>X_{11}</math> - назва проекту;<br/> <math>X_{12}</math> - дата початку;<br/> <math>X_{13}</math> - тривалість проекту;<br/> <math>X_{14}</math> - необхідні капітало-вкладення, та ресурси;<br/> <math>X_{15}</math> - потреба в інвестиціях;<br/> <math>X_{16}</math> - графік реалізації проекту.</p>   | <p><math>X_4</math> - зовнішнє середовище;<br/> <math>X_{41}</math> - екологія;<br/> <math>X_{42}</math> - наявність сировини та матеріалів;<br/> <math>X_{43}</math> - захист оточуючого середовища;<br/> <math>X_{44}</math> - рециркування;<br/> <math>X_{45}</math> - економіка;</p>   | <p><math>Y_1</math> - управлінські рішення;<br/> <math>Y_2</math> - результати;<br/> <math>Y_{21}</math> - прибутки-збитки;<br/> <math>Y_{22}</math> - кеш-фло;<br/> <math>Y_{23}</math> - баланс;</p>   |
| <p><math>X_{20}</math> - компанія (підприємство):<br/> <math>X_{21}</math> - найменування;<br/> <math>X_{22}</math> - цілі компанії;<br/> <math>X_{23}</math> - історія розвитку підприємства;<br/> <math>X_{24}</math> - сфера діяльності і галузева належність;<br/> <math>X_{25}</math> - організаційно-правова форма;<br/> <math>X_{26}</math> - відомості про основних акціонерів;<br/> <math>X_{27}</math> - філії та дочірні підприємства;<br/> <math>X_{28}</math> - основні види продукції та послуг, що виробляються;<br/> <math>X_{29}</math> - основні споживачі;<br/> <math>X_{210}</math> - виробничі потужності;<br/> <math>X_{211}</math> - персонал;<br/> <math>X_{212}</math> - фінансові показники;<br/> <math>X_{213}</math> - основні переваги фірми;</p> | <p><math>X_{46}</math> - соціальний розвиток;<math>X_{47}</math> - політика та законодавство.<br/> <math>X_5</math> - аналіз ринку:<br/> <math>X_{51}</math> - аналіз споживачів;<br/> <math>X_{52}</math> - сегментація ринку;<br/> <math>X_{53}</math> - аналіз ринку;<br/> <math>X_{54}</math> - аналіз каналів збуту;<br/> <math>X_{55}</math> - аналіз конкурентів;<br/> <math>X_{56}</math> - корпоративний аналіз.<br/> <math>X_6</math> - конкуренція:<br/> <math>X_{61}</math> - основні конкуренти;<br/> <math>X_{62}</math> - конкуруюча продукція чи послуги;<br/> <math>X_{63}</math> - характер конкуренції;</p> | <p><math>Y_{24}</math> - звіт про використання прибутку;<br/> <math>Y_{25}</math> - деталізація результатів;<br/> <math>Y_{26}</math> - графіки;<br/> <math>Y_{27}</math> - звіти.<br/> <math>Y_3</math> - аналіз проекту:<br/> <math>Y_{32}</math> - фінансові показники;<br/> <math>Y_{33}</math> - ефективність інвестицій;<br/> <math>Y_{34}</math> - аналіз чутливості;<br/> <math>Y_{35}</math> - аналіз беззбитковості;<br/> <math>Y_{36}</math> - Монте - Карло.</p> |

Закінчення табл. 4.4

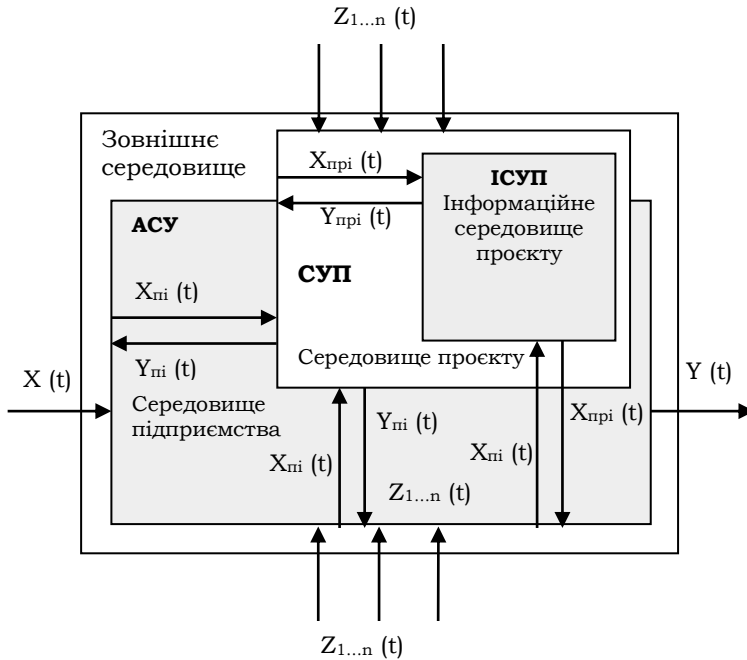
| 1   | 2   | 3  |
|---|---|--|
| <p><math>x_{214}</math> – необхідні покращання.</p> <p><math>x_3</math> – відомості про інноваційну діяльність;</p> <p><math>x_{31}</math> – стан НДДКР на підприємстві;</p> <p><math>x_{32}</math> – науково-технічний персонал;</p> <p><math>x_{33}</math> – фундаментальні дослідження;</p> <p><math>x_{34}</math> – концепція розвитку продуктів;</p> <p><math>x_{35}</math> – технологічні ризики;</p> <p><math>x_{36}</math> – послуги НДДКР ін. організацій;</p> <p><math>x_{37}</math> – державна підтримка НДДКР;</p> <p><math>x_{38}</math> – досвід реалізованих інноваційно-інвестиційних проектів.</p> | <p><math>x_{64}</math> – конкурентні ціни;</p> <p><math>x_{65}</math> – сильні та слабкі сторони конкурентів;</p> <p><math>x_{66}</math> – вплив на конкуренцію зовнішніх факторів.</p> | <p><math>y_4</math> – актуалізація</p> <p><math>y_5</math> – управління змінами проекту.</p> |

Оскільки система це цілісна безліч об'єктів, пов'язаних між собою взаємними відносинами, з'являється можливість описати наявність взаємозв'язку між вхідними і вихідними параметрами системи і, таким чином, надати системі більш строгу форму.

#### **4.5. Процеси інтеграції інформаційних систем підприємств та проектів**

Робота промислового комплексу в сучасних умовах потребує нових принципів управління. Для підвищення якості роботи над проектами, виключення внутрішньої конкуренції, аналізу та обміну знаннями на рівні корпорації необхідно розробляти регламенти і створювати інформаційну систему для їх підтримки. Тому розглянемо процес створення єдиного програмно-інформаційного середовища, розробці моделей інформаційної взаємодії в системі управління інвестиційними проектами на підприємстві.

Взаємодію систем управління можна представити таким чином (рис. 4.14) [27].

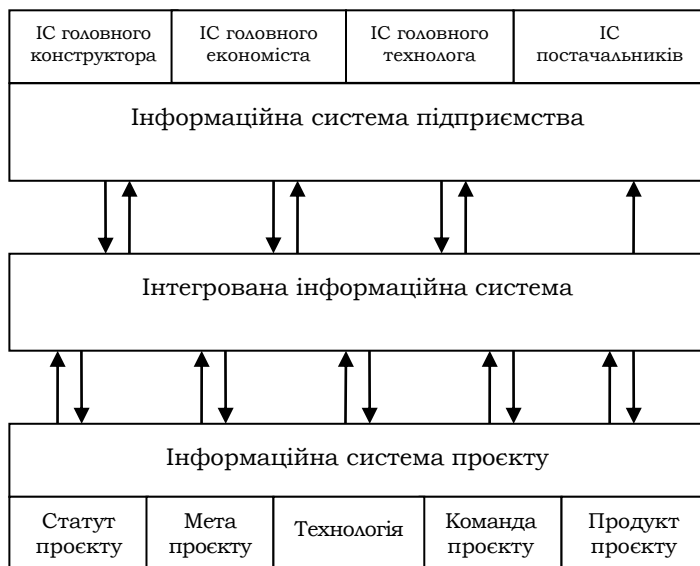


**Рис. 4.14. Модель взаємодії систем АСУ, СУП і ІСУП:**  
 $X_{ni}(t)$  – вхідна інформація для проекту з підприємства;  
 $Y_{ni}(t)$  – вихідна інформація для підприємства;  
 $X_{npi}(t)$  – вхідна інформація по проекту;  
 $Y_{npi}(t)$  – вихідна інформація для СУП;  
 $Z_{1...n}(t)$  – обмеження

При описанні взаємодії інтегрованих інформаційних систем особливо важливе місце посідає питання щодо їх злиття та інтеграції в єдину інтегровану інформаційну систему. Відомо, що під час розробки та впровадження новітніх інформаційних технологій виникають нові можливості якісної зміни траєкторії руху системи (зміни принципів інтеграції систем в процесі управління на підприємстві), зумовлені дією

факторів зовнішнього середовища та здатність елементів системи управління накопичувати інформацію і самостійно породжувати новації. Тому для прийняття рішень про інтеграцію інформаційних систем в процесі управління інноваційно-інвестиційними проектами доцільно застосовувати принцип синергізму, який полягає в отриманні додаткових ефектів від посилення зв'язку між елементами системи. Застосування синергетичної концепції поряд з проектним підходом до управління на підприємстві дозволяє збільшити кінцевий результат функціонування системи в кількісному виразі.

Взаємодія інформаційних систем підприємства та проекту представлена на рис. 4.15.

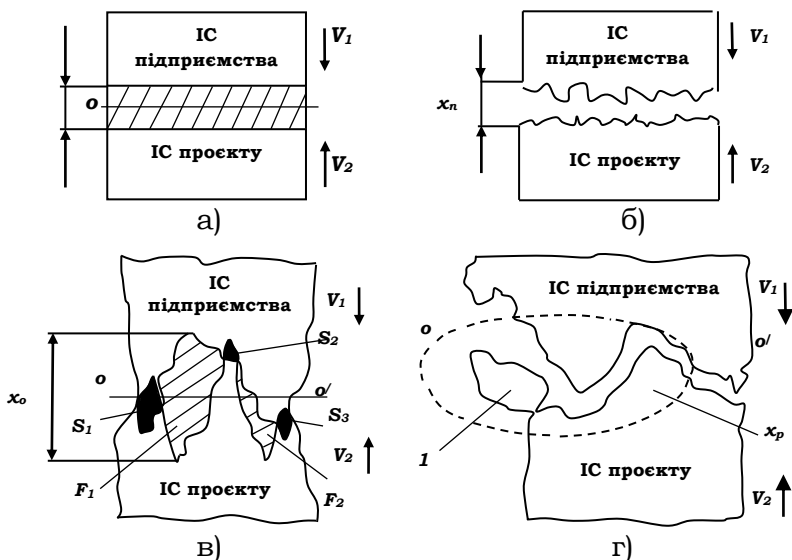


**Рис. 4.15** *Схема взаємодії інформаційних систем проекту та підприємства*

Для розкриття процесу взаємодії інформаційних систем підприємства та проекту його розвитку необхідно: 1) дослідити механізми взаємодії інформаційних систем в залежності від характеристик їх енергій;

2) визначити особливості виникнення спільних точок біфуркації та синергетичного ефекту від взаємодії систем. На основі визначення схеми взаємодії інформаційних систем проекту та підприємства (рис. 4.16) розглянемо питання інтеграції інформаційних систем підприємства та інвестиційного проекту його розвитку в єдину інтегровану інформаційну систему. Прийmemo, що інтеграція систем буде неповною, і в цілому системи будуть функціонувати індивідуально, контактуючи лише в точках їх дотику.

Розглянемо випадок, коли енергетичний потенціал системи розподілений вздовж границі, яка визначає параметри системи (рис. 4.16, а). В цьому випадку границя системи утворює пряму лінію та, в результаті руху систем назустріч одна одній зі швидкостями  $V_1$  та  $V_2$ , відбувається їх взаємопроникнення і утворюється область  $x_0$ , де відбувається їх злиття та об'єднання з можливими синергетичними ефектами [26].



**Рис. 4.16. Схема інтеграції інформаційних систем:  
1 – локальний енергетичний потенціал;  
oo' – стан рівноваги**

У реальних виробничих умовах енергія систем розподілена вздовж їх границь нерівномірно (рис. 4.16, б), а в деяких випадках - хаотично. Тому в залежності від існуючих законів розподілу енергії будуть формуватися виступи та западини на поверхні систем. В цьому випадку при зустрічному русі двох систем зі швидкостями  $V_1$  та  $V_2$  можуть формуватися різні конфігурації області  $x_0$ , за параметрами яких можна робити висновки про ефективність інтеграції та кінцеві результати їх сумісної діяльності.

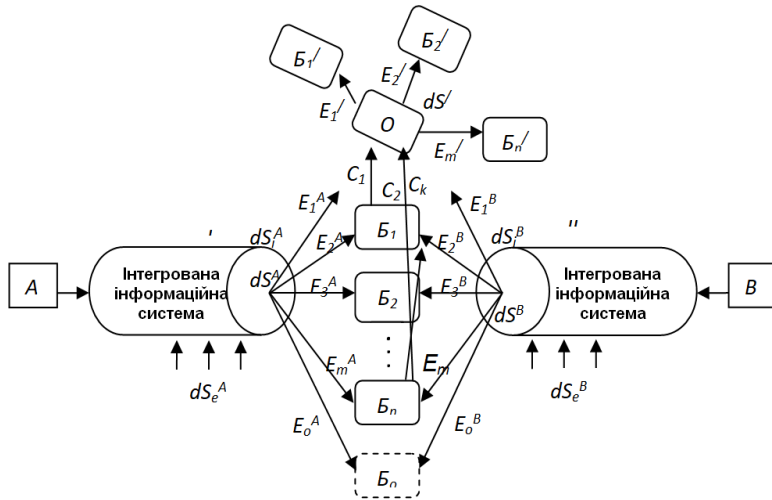
Розглянемо деякі типові випадки (рис. 4.16, в, г), коли в результаті взаємопроникнення (дифузії) потоків енергії, об'єднуються виступи систем з площами  $S_1, S_2, S_3$  (рис. 4.16, в), де енергетичні потоки доповнюють одне одного та утворюють точки біфуркації на основі принципів синергізму. Тут також виникають області з площами  $F_1$  та  $F_2$ , де чітко виражені енергетичні потенціали відсутні. В цьому випадку виникають локальні енергетичні порожнини, які негативно впливають на загальну допустиму область  $x_0$ , в результаті чого її площа зменшується.

Альтернативний випадок, коли виступи та западини двох інформаційних систем співпадають (рис. 4.16, г). У цьому випадку енергетичний простір заповнюється повністю. Цікавим є випадок, коли енергетичні потенціали однополюсні, тоді виступ з більшим потенціалом може зруйнувати виступ з меншим потенціалом, а енергія буде розсіюватися в деякій області  $x_p$ , доповнюючи суміжні енергетичні зони.

На рис. 4.17 показано взаємодію двох зустрічних потоків енергії інформаційних систем підприємства та проекту його розвитку. В результаті їх зіткнення виникають точки біфуркації  $B_1...B_n$ , наявність яких дає можливість реалізації певних сценаріїв дії для виходу систем на новий вищий рівень розвитку. Як видно з рисунку інформаційні системи підприємства та проекту його розвитку спершу перебувають у по-



чаткових станах I, II - гомеостазу, керуючись атракторами A та B. На інформаційні системи діють потоки енергії за рахунок їх притоку ззовні (вплив зовнішніх факторів)  $dS_e^A$  та  $dS_e^B$  та енергії внутрішніх процесів  $dS_i^A$  та  $dS_i^B$  [27].



**Рис. 4.17. Синергетична модель інтеграції інформаційних систем**

A, B – аттрактори (цілі функціонування систем підприємства та проекту, відповідно); I та II – початкові стани гомеостазу;  $dS_e^A$ ,  $dS_e^B$ ,  $dS_i^A$ ,  $dS_i^B$ ,  $dS^A$ ,  $dS^B$ ,  $dS'$  – зовнішня, внутрішня та загальна енергія, відповідно;  $E_1^A \dots E_m^A$ ,  $E_1^B \dots E_m^B$  – потоки енергії від початкових станів систем;  $B_1 \dots B_n$ ,  $B_1' \dots B_n'$  – точки біфуркації поточного рівня самоорганізації та більш високого рівня, відповідно;  $B_0$  – точка біфуркації, яка не сформувалась внаслідок різниці потенціалів енергії;  $C_1 \dots C_k$  – сценарії руху інтегрованих систем; O – оптимальний напрям руху систем.

Інформаційні системи відносяться до типу відкритих складних об'єктів, які описуються параметрами, що відображають обмін матеріальних і фінансових ресурсів з навколишнім середовищем. Як у типовій термодинамічній системі, де відбувається організований перерозподіл потоків енергії в результаті зіткнення великого числа мікроскопічних елементів, так і в управлінській системі загальний механізм ринкових відносин визначається рухом товарних і грошових потоків при здійсненні численних операцій між господарюючими суб'єктами. Як і в класичній термодинаміці, в економіці виділяються два рівні опису: мікрорівень взаємодії окремих господарюючих суб'єктів і макрорівень поведінки всієї економічної системи. В цілому, термодинамічний опис реальних економічних систем заснований на фундаментальних системних принципах, властивих складно організованим об'єктам будь-якої природи.

Поведінка інформаційних систем в нестабільному зовнішньому середовищі залежно від їх термодинамічних характеристик можна розділити на дві основні області: лінійну і нелінійну. У слабо нерівноважній області екотермодинамічні потоки (матеріальні і грошові потоки) лінійно залежать від екотермодинамічних сил (градієнта попиту, тобто перевищення попиту над пропозицією, або градієнта пропозиції - перевищення пропозиції над попитом). У сильно нерівноважній або нелінійній області екотермодинамічні потоки є складнішими функціями екотермодинамічних сил. Якщо в лінійній області економічна система залишається структурно стійкою і є єдиний метастабільний стан, то в нелінійній області відбувається значне посилення ринкових флуктуацій, що приводять до утворення нових господарських структур через певну послідовність метастабільних станів. Саме в умовах сильної невірноваженості економічна система здатна спонтанно організовувати себе і якісно нарощувати свій господарсько-фінансовий потенціал.

Відомо, що першим законом термодинаміки є закон збереження енергії стосовно термодинамічних процесів: енергія не зникає і не виникає ні з чого, а лише переходить з одного вигляду в інший в еквівалентних кількостях. У відповідності до цього закон термодинаміки можна записати в наступному вигляді:

$$dQ = dK + dH + dL, \quad (4.1)$$

де  $dK + dH$  являє собою суму кінетичної та потенціальної енергії, тобто внутрішню енергію системи  $dL$ . Тоді формулу можна представити таким чином:

$$dQ = dU + dL. \quad (4.2)$$

Потенційну енергію економічної системи можна представити основними фондами, накопиченнями і капіталовкладеннями:

$$D_p = \frac{K(x)^2}{2}. \quad (4.3)$$

Її завжди можна перевести в кінетичну енергію системи шляхом продажу підприємств, в які вкладемо гроші й обернути в готівку. При цьому капіталовкладення можна представити як стислу (розтягнуту) пружину, яка може вільно розпрямлятися і виконувати корисну роботу. При цьому виникають коливання з амплітудою  $\delta x$ . Можна знайти коефіцієнт пружності системи за формулою:

$$K = \frac{2D_p}{\delta x^2}. \quad (4.4)$$

В цій формулі потенційна енергія визначена як капіталовкладення.

Із статистичних даних вимірюють амплітуду в грошовому виразі і визначають параметр системи  $\delta x$ . Кінетичну енергію системи можна представити залежністю:

$$D_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (4.5)$$

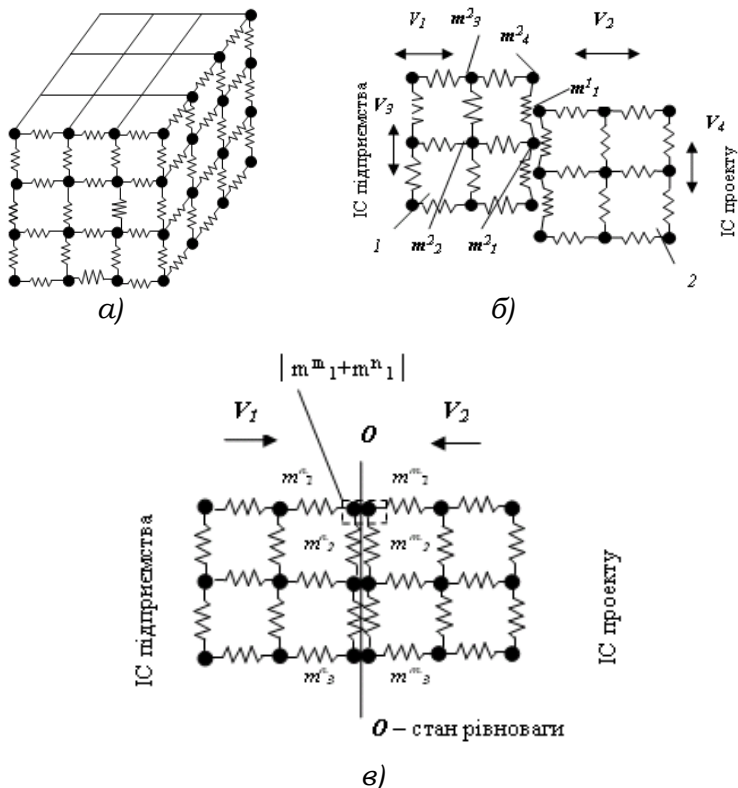
де  $D_k$  – гроші або капітали, які створюють грошові потоки зі швидкістю  $v$  та знаходяться в обігу. При цьому можна знайти масу (інерційність) системи  $m$  як:  $m = \frac{2D_k}{v^2}$ .

Із статистичних даних можна знайти розміри капіталовкладень, швидкість обороту капіталу і загальний об'єм капіталу, що бере участь в обігу. Цих даних з урахуванням періоду коливань цілком достатньо, щоб знайти коефіцієнт квазіпружної сили або «пружність системи»:

$$K = \frac{\tau^2}{2\pi m}. \quad (4.6)$$

На основі вищезазначеного модель інформаційної системи можна представити набором найпростіших елементів: інерційності, пружності та резистора. Такий набір представлено на рис. 4.18 у вигляді деякої тривимірної моделі.

Форма решітки може бути різноманітною та необов'язково кубічною. Представлена на рис. 4.18, а конструкція суттєво полегшує сприйняття управлінських процесів, в яких циркулюють грошові та матеріальні потоки. У цієї конструкції існує границя-поверхня або мембрана, через яку енергія та матеріали проникають всередину та виходять на зовні. З цього слідує, що наявність мембрани створює поверхневий натяг та тиск всередині системи. Мембрана утримує всю конструкцію та створений нею тиск мають бути достатніми для цього. Мембрана повинна бути (частково) прозорою для циркуляції потоку енергії та матерії.



**Рис. 4.18. Схема об'єднання інформаційних систем підприємства та проекту:**  
**а** – тривимірна модель інформаційної системи;  
**б** – глибоке проникнення інформаційних систем; **в** – поверхневе проникнення інформаційних систем; ● - інерційність або маса;  $\text{---}$  - резистор або дисипативний елемент; -- пружність

Розглянемо процес об'єднання двох інформаційних систем підприємства та проекту на основі представленої моделі. При об'єднанні двох систем в одне ціле можливі різноманітні конфігурації пружних інерційних елементів. Якщо прийняти решітку правильної форми, то в процесі об'єднання систем інерційна

маса  $m^1$  решітки 1 з'єднається з будь-якою масою  $m^2$  решітки 2 (в залежності від глибини проникнення решітки 1 в решітку 2 (рис. 4.18, б). На рис. 4.18, в показано поверхнєве об'єднання двох систем. В цьому випадку обидві маси можуть доповнити одна одну, якщо вони рухаються в одному напрямку. В результаті злиття обох мас система починає працювати як одне ціле. Таким чином, об'єднуючи дві підсистеми в одне ціле, можливо отримати нову сукупність взаємопов'язаних елементів, що мають властивості більш високого рівня функціонування [26].

#### **4.6. Інтеграція інформаційних систем при їх динамічному розвитку у просторі та часі**

При описанні інтеграції інформаційних систем в просторі та часі важливе місце посідає питання моделювання процесу інтеграції двох систем. Математичні моделі складних інформаційних систем з точки зору логіко-математичного моделювання можна віднести до багатокомпонентних нелінійних динамічних систем розподіленого типу. Як правило, моделювання динаміки нелінійних систем проводиться на основі використання:

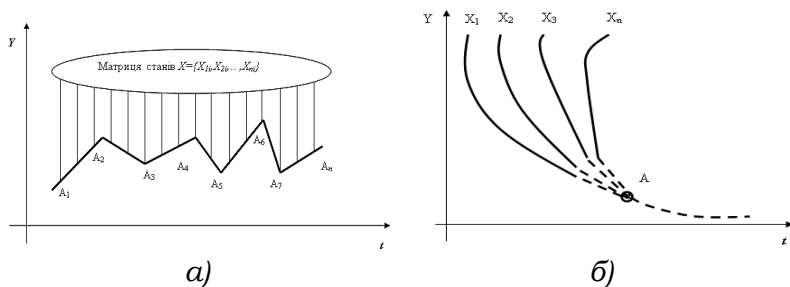
- багатомірних диференціальних рівнянь;
- математичного апарату кліткових автоматів;
- теорії катастроф;
- теорії самоорганізованої критичності (ентропії);
- стохастичних рівнянь Ланжевена;
- аналізу систем з хаосом та відновленням стійких станів (атракторів).

Вказані методи реалізуються на основі часових рядів даних. Найбільш доцільним для дослідження ІС є апарат диференціальних рівнянь, які описують зміни системи у вигляді:

$$\frac{dY}{dt} = f(X, B, t), \quad (4.7)$$

де  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  – вектор залежних змінних, які описують стан ІС;  $\frac{dY}{dt}$  – швидкість зміни факторів системи;  $t$  – час;  $f(X, B, t)$  – нелінійна вектор-функція;  $B = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_n\}$  – вектор параметрів системи, в загальному випадку залежних від часу.

Розв'язки рівнянь виду (4.7) звичайно представляються фазовими траєкторіями в просторі станів системи (рис. 4.19),  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  – факторні ознаки, незалежні економічні змінні.

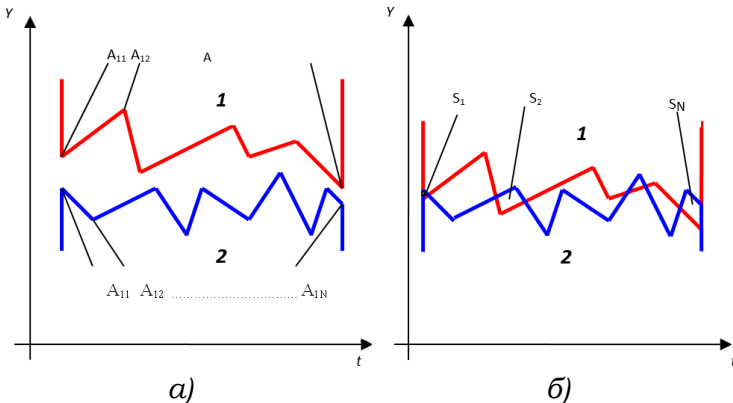


**Рис. 4.19. Фазові траєкторії у просторі станів (А-атрактор типу «центр»):**  
**а) фазові траєкторії;**  
**б) динамічний розподіл стійкості станів ІС**

Аналіз фазових траєкторій дає змогу зробити висновки про розвиток ІС у часі, визначити області детермінованої поведінки та області біфуркацій - області невизначеності та області нестійких станів системи (4.7), а також атрактори системи - області стійких станів, наприклад, типу «центр».

Як правило, перехід від стійкого стану до нестійкого (і навпаки) відбувається при зміні параметру  $b_i$  системи (4.7), які можна назвати «параметрами порядку». В реальній ІС вони також можуть виступати як параметри управління при прийнятті рішень, щодо управління системою. Задача аналізу стану ІС, таким чином, може бути сформульована як визначення таких параметрів управління, за допомогою яких можлива зміна поведін-

ки інформаційної системи та її станів чи параметрів порядку, що визначають стійкі стани системи. Розглядаючи поведінку інформаційної системи в множині станів, можна говорити про наявність множини точок біфуркації  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  [26]. Це означає, що функція поведінки системи (рис. 4.19, б) описується у просторі станів у вигляді загальної траєкторії з розподіленими у часі точками біфуркації чи атракторами (рис. 4.20).



**Рис. 4.20. Інтеграція ІС підприємства та проекту його розвитку: а) до взаємодії; б) після взаємодії;  $S_1 \dots S_N$  – площі перетину систем**

Визначені в таких точках параметри управління чи «параметри порядку» утворюють матрицю параметрів  $B = \{B_1, \dots, B_n\}$ , за допомогою якої можна оцінювати стійкість (нестійкість) інформаційної системи. Тоді на вказаній множині станів система може бути описана системою диференціальних рівнянь виду (4.7) з врахуванням кількості станів [26].

Якщо в системі відомий (заданий) її початковий стан  $X(t_0)$  то існує єдиний розв'язок рівняння (4.7), за допомогою якого можна визначити прогнозні значення станів системи для будь-яких  $t > t_0$ . Якщо число змінних (станів) два або більше, то ІС може бути описана системою 2-х і більше рівнянь виду:



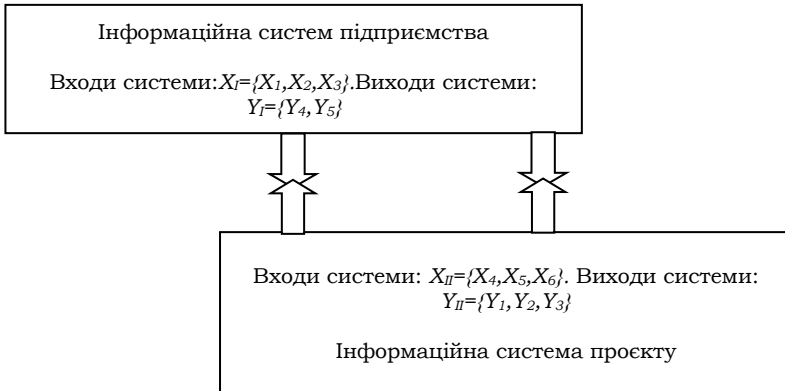


Таблиця 4.6

**Вихідні дані для двох взаємодіючих  
інформаційних систем**

| Позначення | Найменування    | Кількість,<br>одиниці вимірювання |
|------------|-----------------|-----------------------------------|
| $Y_1$      | Статут проєкту  | 1                                 |
| $Y_2$      | Мета проєкту    | 1                                 |
| $Y_3$      | Команда проєкту | 778                               |
| $Y_4$      | Технологія      | 1                                 |
| $Y_5$      | Кредит          | 8 556 000 грн                     |

Структурна схема взаємодії параметрів систем приведена на рис. 4.21.



**Рис. 4.21. Взаємодія інформаційних систем  
підприємства та проєкту  
у факторах «входи-виходи»**

Розглянемо процес інтеграції інформаційних систем, розподілений у часі за умови, що життєвий цикл проєкту становить 5 періодів. Об'єднані характеристики входів і виходів інтегрованої інформаційної систем приведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

**Характеристики інтегрованої  
інформаційної системи**

| Період<br>ЖЦП, $t$ | Входи інтегрованої системи |       |       |       |       |       | Виходи інтегрованої системи |       |       |       |       |
|--------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                    | $X_1$                      | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $Y_1$                       | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ |
| 1                  | 100                        | 2     | 0,2   | 0,3   | 1     | 5     | 0,1                         | 0,2   | 78    | 0,1   | 550   |
| 2                  | 300                        | 3     | 0,4   | 0,4   | 1     | 8     | 0,3                         | 0,5   | 100   | 0,2   | 1030  |
| 3                  | 600                        | 4     | 0,5   | 0,6   | 2     | 12    | 0,5                         | 0,6   | 150   | 0,5   | 1800  |
| 4                  | 800                        | 5     | 0,7   | 0,8   | 3     | 15    | 0,7                         | 0,9   | 200   | 0,8   | 2456  |
| 5                  | 1000                       | 6     | 1     | 1     | 3     | 16    | 1                           | 1     | 250   | 1     | 3020  |

Для дослідження динаміки інтеграції інформаційних систем підприємства та проекту його розвитку використаємо систему диференціальних рівнянь, які описують динаміку зміни системи виду:

$$\begin{cases} \frac{dY_I}{dt} = f(X_I, B_I, t); \\ \frac{dY_{II}}{dt} = f(X_{II}, B_{II}, t). \end{cases}, \quad (4.9)$$

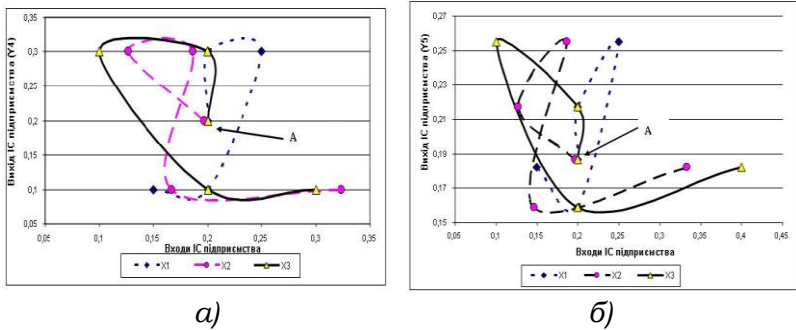
де  $X_I = \{X_1, X_2, X_3\}$  – вектор залежних змінних, які описують стан ІС підприємства;  $X_{II} = \{X_4, X_5, X_6\}$  – вектор залежних змінних, які описують стан ІС проекту;  $\frac{dY_I}{dt}, \frac{dY_{II}}{dt}$  – швид-

кість зміни факторів систем;  $t$  – час;  $f(X, B, t)$  – лінійна вектор-функція;  $B = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_n\}$  – вектори параметрів систем, в загальному випадку залежних від часу.

Для побудови фазових траєкторій, які описують поведінку систем у часі проведемо узагальнення факторів з метою приведення їх до порівняльних величин. Для цього перенормуємо показники входів та виходів систем і представимо їх як відносні величини структури (долі чи питомі ваги) за формулою:

$$\left\{ \begin{aligned} d_{X_i} &= \frac{X_i}{\sum_{i=1}^n X_i}; & d_{Y_i} &= \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i}. \end{aligned} \right. \quad (4.10)$$

Результати розв'язку системи диференціальних рівнянь представляють собою фазові траєкторії у просторах станів систем (рис. 4.22, рис. 4.23).



**Рис. 4.22. Фазові траєкторії інформаційної системи підприємства у просторі станів:**  
**а) за виходом «Y<sub>4</sub>», б) за виходом «Y<sub>5</sub>»**

Аналіз фазових траєкторій ІС підприємства дає змогу говорити про те, що система має достатньо нестабільну поведінку в часі. Але поряд з цим система має область стійких станів, до якої сходяться фазові траєкторії – атрактор А типу «центр». Причому така поведінка ІС підприємства характерна по відношенню до обох її виходів – Y<sub>4</sub> та Y<sub>5</sub>.

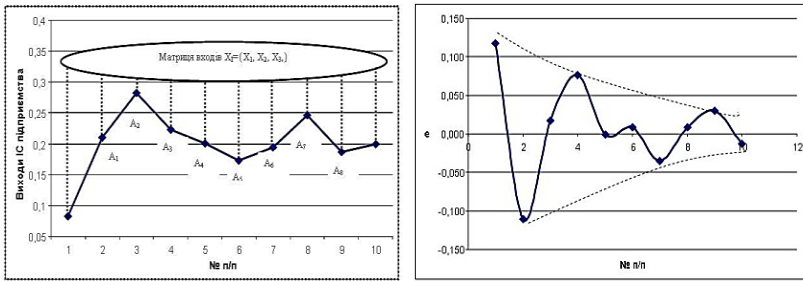
Стійкість ІС підприємства дослідимо за допомогою визначення параметрів B<sub>i</sub> стійкості системи шляхом розв'язку системи рівнянь в межах кусочно-лінійного наближення з врахуванням умови (4.2):

$$\begin{cases} \frac{dY_4}{dt} = f_1(X_1, X_2, X_3); \\ \frac{dY_5}{dt} = f_2(X_1, X_2, X_3). \end{cases} \quad (4.11)$$

Аналіз розподілу стійкості станів ІС підприємства (рис. 4.23, а) та поведінки стохастичної складової першого порядку для загального виходу ІС підприємс-

тва (рис. 4.23, б) показує наявність у просторів станів системи розподілених у просторі атракторів, а також те, що величина  $e(t)=dY(t)-dY_t(t)$  змінює знак, асимптотично зменшуючись за експоненціальним законом.

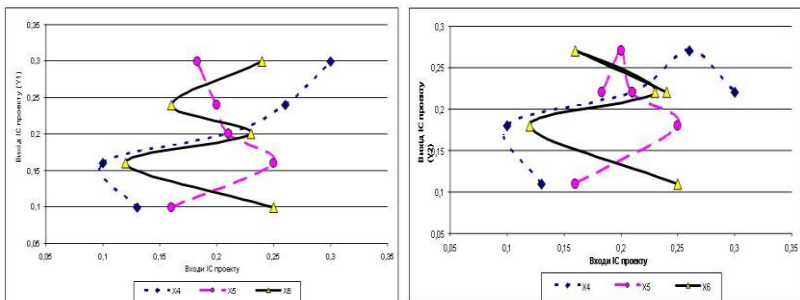
Дослідження ІС проекту розвитку підприємства, проведене за вказаною методикою дало результати, які приведені на рис. 4.24, рис. 4.25. З аналізу фазових траєкторій ІС проекту видно, що система має значну міру невизначеності. Крім того в системі відсутні стійкі стани.



а)

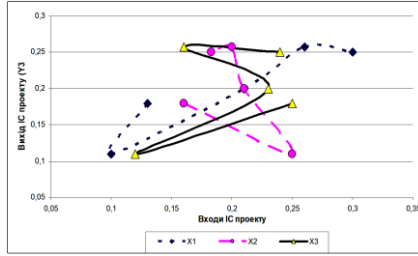
б)

**Рис. 4.23. Зміни станів ІС підприємства:  
 а) розподіл атракторів системи;  
 б) стохастична складова**



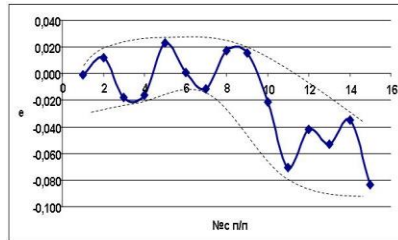
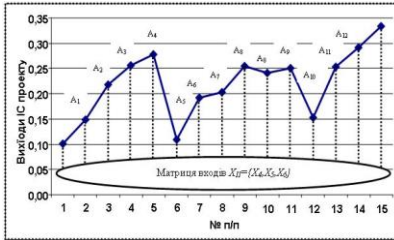
а)

б)



В)

**Рис. 4.24. Фазові траєкторії інформаційної системи проекту у просторі станів: а) за виходом «Y<sub>1</sub>», б) за виходом «Y<sub>2</sub>», в) за виходом «Y<sub>3</sub>»**



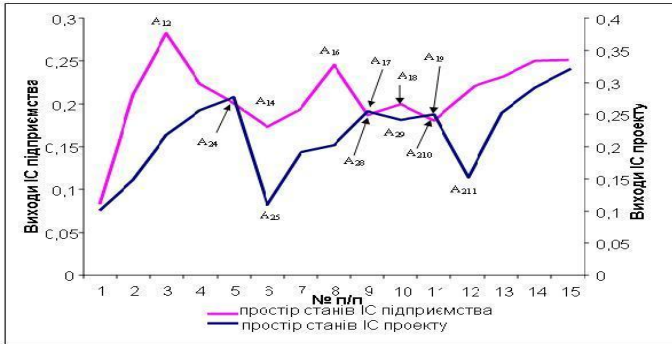
а)

б)

**Рис. 4.25. Зміни станів ІС проекту розвитку підприємства: а) розподіл атракторів системи; б) стохастична складова**

Як видно з рис. 4.25, стани інформаційної системи проекту розвитку підприємства значною мірою відрізняються від поведінки ІС підприємства. Розподіл атракторів інформаційної системи проекту має невизначеності. Стохастична складова системи не проявляє характерної для стійкого стану експоненціальної зміни її величини з часом.

Розглянемо взаємодію ІС підприємства та ІС проекту, які описуються множинами атракторів, в яких виділені рівноважні стани на заданому часовому проміжку та заданій множині входів  $A1 = \{A12, A14, A16, A17, A18, A19\}$  та  $A2 = \{A24, A25, A28, A29, A210, A211\}$  відповідно (рис. 4.26).



**Рис. 4.26. Взаємодія інформаційних систем підприємства та проекту в просторі рівноважних станів**

Рівноважні стани систем визначаються аналізом функцій (15), яка в точках екстремуму (точках стійких станів) змінює знак. Таким чином кількість рівноважних станів в просторі множин виходів  $Y$  становить: для ІС підприємства  $N_1=6$ , для ІС проекту  $N_2=6$ .

Для визначення ефективності інтеграції інформаційних систем підприємства та проекту його розвитку в роботі [26] пропонується використовувати показник виду  $E_{XOY} = \langle (R1, R2), (Z1, Z2), (X, Y) \rangle$ , де складові являють собою оператори інтеграції інформаційних систем, вектори управління та стани систем у просторі входів-виходів.

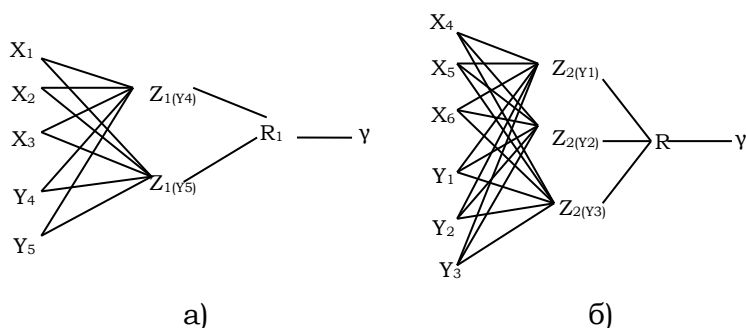
#### **4.7. Нейромережеве управління інтеграцією інформаційних систем**

Оскільки теорія синергетичного управління є сучасною концепцією синтезу та аналізу систем управління багатовимірними нелінійними об'єктами в динамічних системах, а одним з універсальних засобів формування керуючих впливів є нейронні мережі, то перспективним є об'єднання концепцій синергетичного і нейромережевого управління в досліджуваних системах.

Основна мета нейромережевої реалізації - це відтворення дії, що управляють ефективністю процесу інтеграції ІС на виході навченої в реальному часі нейромережі управління. Апроксимацію нелінійних неперервних функцій можна виконати за допомогою двошарової нейромережі. Для того щоб сконструювати алгоритм навчання нейромережі, що забезпечує необхідну якість процесу на виході, поєднавши процеси управління нелінійним об'єктом і налаштування багатшарової мережі, можна використовувати стандартний алгоритм зворотного поширення помилки, підбираючи функцію узагальненої помилки навчання.

У загальному випадку синтез структури та алгоритмів навчання включає вибір архітектури мережі, функціонала навчання та цілі управління, складання розширеної системи диференціальних рівнянь, вибір узагальненої помилки навчання і синтез алгоритму управління.

Імітаційна модель аналізу та визначення параметрів ефективності інтеграції систем управління підприємства та проекту створена на основі трикутника управління (рис. 4.27), який включає в себе параметри, визначені за допомогою залежностей (4.4)-(4.9) [26].



**Рис. 4.27. Структура нейронних моделей управління «НМІС1» та «НМІС2»: а) ІС підприємства; б) ІС проекту**



На основі співвідношень розглянутих в попередньому пункті та введених основних характеристик та параметрів було визначено, що управління інтеграцією інформаційних систем у вигляді оптимального співвідношення їх входів і виходів визначається чотирма групами параметрів:  $X$  – вектори входів систем;  $Y$  – вектори виходів систем;  $Z$  – вектори управління;  $R$  – оператори управління;  $\lambda$ ,  $\gamma$  – допоміжні параметри зв'язків.

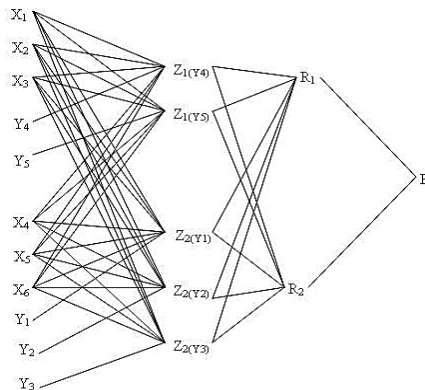
Інструментом моделювання в роботі виступає нейронна мережа (НМ), параметри якої, розраховані за (4.4)-(4.9). Вказані параметри виступають у якості вхідних змінних до моделі управління інтеграцією ІС являють собою елементи вхідного шару нейронної мережі, яка пропонується до практичної реалізації. Нейронна мережа включає в себе дві модифікації: «НМІС1» та «НМІС2» побудовані окремо для ІС підприємства та проєкту розвитку машинобудівної галузі.

При визначенні кількості нейронів проміжного шару нейромережі «НМІС» було застосовано евристичне правило [11], на основі якого ця кількість дорівнює половині сумарної кількості входів і виходів. Функцією активації обрана гіперболічна тангенціальна (сигмоїдальна). В якості навчальної функції використовувати функцію, яка реалізує метод зворотного поширення (алгоритм Левенберга - Марквардта), яка забезпечує максимальну швидкість.

На основі визначеного кортежу вхідних даних була створена структура чотиришарової нейромережі «НМІС» – мережа, яка моделює процеси в інтегрованій інформаційній системі, яка приведена на рис. 4.28. Практичну частину реалізації синергетичної моделі інтеграції ІС на основі розробленої математичної моделі процесу, формального правила «Трикутник управління» та нейромережі на основі пакету NeuralNetworksToolbox умовно розділимо на дві етапи:

1) створення та навчання локальних моделей за допомогою параметрів, які описують основні значення векторів входів/виходів окремих інформаційних систем підприємства та проекту його розвитку;

2) практична реалізація моделі інтеграції інформаційних систем на основі розрахованих оцінок параметрів інтегрованої інформаційної системи.



**Рис. 4.28. Структура нейронної моделі управління інтегрованої системи «нейромережа «НМІС»**

Для проведення імітаційних експериментів та зменшення розмірів задачі у приведених прикладах були розглянуті два вектори параметрів моделей навчальних одиниць (НО). Задачу навчання нейронних мереж сформулюємо як «необхідне досягнення інформаційними системами параметрів управління  $R, \gamma, \lambda$ ». Для рішення даної задачі побудовано нейромережі, використавши функцію *newff*:  $\text{net} = \text{newff}(\text{minmax}(P), [5 \ 2 \ 1], \{\text{'tansig' 'tansig' 'purelin'}\})$ ; де *net* – ім'я нейромережі;  $\text{minmax}(P)$  – матриця мінімальних та максимальних значень вхідної матриці даних  $P$ ;  $[5 \ 2 \ 1]$  – кількість прошарок та нейронів в них, 5 нейронів в першому шарі, 2 в другому, 1 в третьому;  $\{\text{'tansig' 'tansig' 'purelin'}\}$  – функція активації відповідного шару мережі.

Опитування мережі проведене до її навчання за допомогою функції *sim* для визначення співвідношення між виходом та метою:

$$Y1 = \text{sim}(\text{net}, P),$$

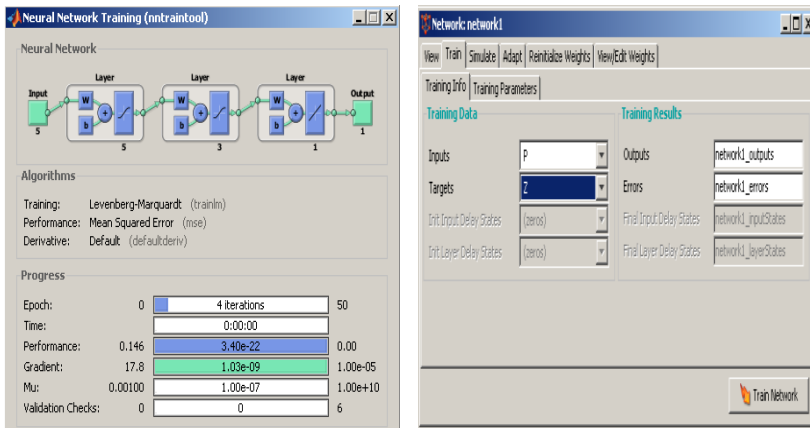
де *Y1* – ім'я опитування; *net* - ім'я мережі що опитали; *P* – вхідні параметри.

Навчання нейронної мережі проведене за допомогою функції *train*. Програмний код функції навчання:

$$[\text{net}, \text{tr}] = \text{train}(\text{net}, P, Z);$$

де *net* – ім'я мережі, що навчається; *P* – вхідні значення; *Z* – управління, яких потрібно досягнути.

Діалогове вікно функції приведена на рис. 4.29.

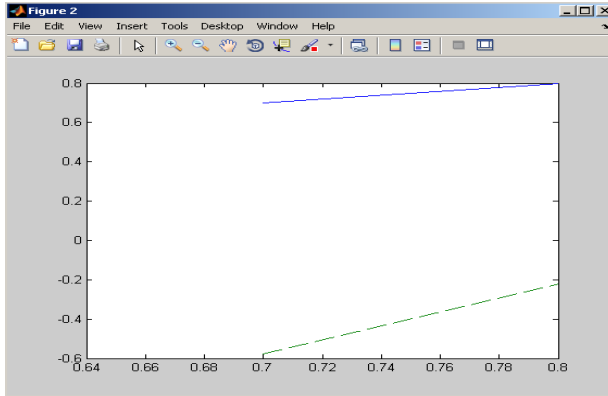


а)

б)

**Рис. 4.29. Нейронна мережа інтегрованої інформаційної системи: а) постановка задачі; б) результати роботи функції *train***

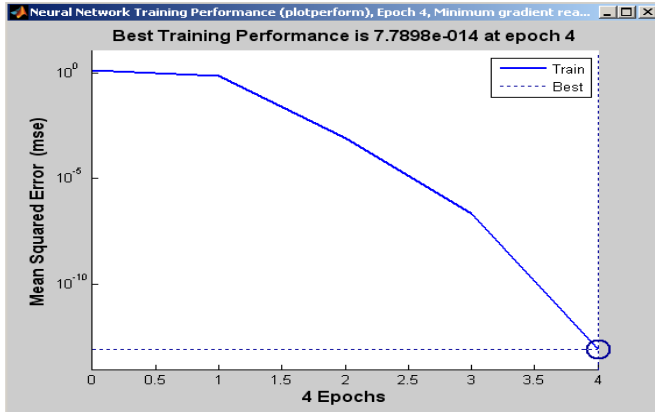
На основі створеної мережі було проведено її навчання та проведений обробка результатів роботи (рис. 4.30) для визначення співвідношення між входами/виходами (*Y/X*) ІС при визначених векторах управління (*Z*).



**Рис. 4.30. Графік відповідності параметрів системи та мети (управління) після навчання (горизонтальна вісь – мета (рівень управління  $Z$ ); вертикальна вісь – параметри (рівень виходів  $Y$ ))**

З графіків видно, що нейромережа після навчання з більшою значущістю описує процеси функціонування системи у просторі входів/виходів при заданих параметрах управління (верхній графік) ніж до навчання (нижній графік). Співвідношення отриманих результатів до та після навчання мережі показує, що процес тренування (навчання) мережі має сенс і мережа більш достовірно описує процеси перетворення входів ІС у виходи при визначеному векторі управління  $Z$ . Чисельна оцінка результатів навчання мережі проводиться за допомогою визначення величини помилки MeanSquaredError (MSE), величини якої склала  $MSE = 7.8 \cdot 10^{-14}$ . Похибки навчання нейронної мережі представлена на рис. 4.31. Як видно з рисунку, навчання мережі зайняло 4 цикли (epochs).

Таким чином, на основі роботи нейронних мереж для інформаційних систем підприємства та проекту було доведено, що системи можуть досягти власного ефективного стану роботи при заданих векторах управління за 5 та 7 epoch відповідно (2,5 та 3,5 роки).



**Рис. 4.31. Графік навчання нейронної мережі та допущених помилок при навчанні**

**Контрольні питання:**

- 1) Поясніть поняття технічного проекту, як системи взаємопов'язаних елементів?
- 2) Що являє собою системна модель управління проектом?
- 3) Перерахуйте методи формалізованого представлення технічних систем?
- 4) Надайте характеристику системним моделям управління інвестиційними проектами?
- 5) З чого складається інформаційна система управління інвестиційним проектом?
- 6) Що являє собою кібернетична модель управління проектом?
- 7) Поясніть процес інтеграції інформаційних систем підприємства та проектів розвитку?
- 8) Поясніть синергетичну модель інтеграції інформаційних систем?
- 9) Поясніть порядок побудови нейромереж управління процесом інтеграції інформаційних систем?

## РОЗДІЛ 5. ПРЕДМЕТ ТА ЗАДАЧІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### 5.1. Загальні положення про системний аналіз

Застосування системного підходу як головного принципу побудови, функціонування і розвитку, а також дослідження будь-яких систем (системних об'єктів), передбачає володіння відповідним понятійним (категоріальним) апаратом. Тому для оцінки властивостей складних систем, необхідно попередньо визначити відповідні показники та терміни, якими користуються фахівці [2, 4-8].

*Властивість* – характерна риса об'єкта, котра внутрішньо притаманна тільки об'єкту і зумовляє його схожість або розбіжність з іншими об'єктами. Властивість може бути простою або складною.

*Проста властивість* – властивість, яку неможливо представити у вигляді певної сукупності властивостей об'єкта.

*Складна властивість* – властивість, яку можна представити у вигляді певної сукупності властивостей об'єкта.

*Група властивостей* – будь-яка сукупність властивостей об'єкта.

Будь-який об'єкт володіє певними істотними і невід'ємними від існування об'єкта властивостями. „Невід'ємними від існування”, означає, що зміна даної властивості супроводжується знищенням об'єкта, цілком можливо шляхом перетворення в інший. „Істотною” називають властивість, яка притаманна тільки даному об'єкту.

Властивості об'єкта залежать від способу взаємодії об'єкта і суб'єкта. Наприклад, яблуко може бути червоним або зеленим, якщо на нього дивитись, кислим або солодким, якщо пробувати його на смак, корисним, якщо його з'їсти, важким якщо воно впаде на голову і т. ін.

Властивості об'єкта проявляються не тільки перед суб'єктами, а й перед іншими об'єктами, тобто властивості можуть проявлятися і в процесі взаємодії об'єктів один з одним. В цьому випадку властивістю об'єктів буде зміна своїх властивостей або властивостей інших об'єктів. Наприклад, впавши на підлогу, тарілка взаємодіє з нею – розбивається, змінюючи свою форму, світло червоного ліхтаря надає червоний колір білому паперу і т. ін. Весь навколишній світ складається з великої кількості різних об'єктів, які можуть бути поділені на окремі складові частини, а частини, в свою чергу, на ще більш дрібні частини або елементи. Але усі ці частини і елементи, незважаючи на принципову можливість бути відокремленими одна від одної, залишаються пов'язаними між собою в одне ціле. При цьому усі вони пов'язані не якимось випадково, а цілеспрямовано, при чому таким чином, що одна частина (елемент) системи допомагає іншій частині. Якщо б вони не допомагали одна одній, то давно б все розсипалося і перетворилося б в хаос.

В світі є безліч елементів, об'єктів, систем, котрі мають різноманітні виходи, завдячуючи яким, вони можуть взаємодіяти з іншими елементами. Це означає, що ці елементи, в процесі своєї життєдіяльності або функціонування, щось „виробляють” або виділяють з себе, що може сприйматися іншими елементами, що йде цим елементам на користь (інакше б вони це не сприймали!). Правда, іноді, при певних процесах „виділення”, одні елементи можуть шкодити іншим елементам. Але тоді, з часом, такі елементи намагаються „розійтися” один від одного подалі. Так поступово, шляхом тривалого добору, утворюються певні групи елементів, які можуть існувати тривалий час тільки тому, що вони існують в групі і в процесі функціонування в цій групі підтримують один одного. Такі групові множини елементів, що функціонують у взаємозв'язку заради досягнення загальної мети, ми і будемо називати системами.

*Признак системи* – стійка сукупність властивостей системи, яка використовується для розрізнення систем між собою або їх класифікації.

*Характеристика властивості* – опис особливостей об'єкта. Характеристика має назву та значення. Назва характеристики співпадає з назвою властивості. Значення характеристики може бути задане як кількісно, так і якісно. Тому розрізняють кількісні і якісні характеристики.

*Кількісна характеристика* – опис властивостей об'єкта за допомогою певної змінної, значення якої характеризує рівень або потужність цієї властивості. Таку змінну, зазвичай називають величиною.

*Якісна характеристика* – узагальнена властивість об'єкта, яка характеризує його придатність для використання по призначенню.

Необхідно відзначити, що якісна характеристика може бути перетворена в кількісну, шляхом уведення відповідної шкали виміру інтенсивності властивості і порівняння якісної характеристики з цією шкалою. *Оцінювання властивості* - процес визначення значень характеристики.

*Оцінка* – результат оцінювання властивості.

*Вимір* – процес визначення кількісної характеристики, в основі якої лежить знаходження значень фізичної величини дослідним шляхом за допомогою технічних засобів.

*Показник властивості* – кількісна характеристика, за допомогою якої оцінюється властивість.

*Груповий показник властивості* – показник групи властивостей.

*Узагальнений показник властивості* – показник складної властивості.

*Частковий показник властивості* – показник властивості, котра входить у сукупність властивостей і за допомогою якої може бути представлена складна властивість.



*Якість* – складна властивість системи, яка зумовлює його придатність для використання по призначенню.

Науковим напрямком, який розробляє методологію, методи і методики комплексного оцінювання якості систем є кваліметрія (теорія кількісного оцінювання якості). Предметом вивчення кваліметрії є сукупність взаємопов'язаних дій, спрямованих на досягнення конкретної мети.

*Операція (цілеспрямований процес)* – упорядкована сукупність взаємопов'язаних дій, спрямованих на досягнення конкретної мети.

*Результат (ефект)* – кінцевий підсумок операції, включаючи всі його наслідки.

*Цільовий ефект* – результат, заради чого здійснювалася операція.

*Ресурси* – сила і засоби, які використовуються для проведення операції.

*Ефективність операції* – складна властивість операції, яка характеризує її пристосованість до досягнення мети, заради якої операція здійснювалася.

*Стан системи* – сукупність властивостей, яка відображує процес зміни системи.

Стан системи описується за допомогою набору характеристик, які складають певну сукупність, котра визначає стан та значення цих характеристик в момент опису. Процес зміни системи на даному інтервалі часу, представляє собою послідовність станів, які приймає система в кожний момент часу на цьому інтервалі. Даний процес описується шляхом завдання початкового (вихідного) стану і зміни цього стану для кожного моменту часу на заданому інтервалі.

*Розвиток системи* – це процес зміни системи, який підкоряється закономірностям, котрі визначають існування системи.

Виходячи з вищезазначеного можна визначити поняття «системний аналіз».

*Системний аналіз* – технічна наука, яка вивчає загальні закономірності створення, удосконалення і використання природніх та штучних систем.

До основних характерних особливостей системи можна віднести наступні.

1. Система передусім є сукупністю елементів. За певних умов елементи, відповідно, також можуть розглядатись як системи.

2. Наявність суттєвих зв'язків між елементами та (або) їх властивостями, котрі переважають над зв'язками цих елементів з тими, які не входять до даної системи. Під суттєвими зв'язками розуміють лише такі, які закономірно визначають інтегративні властивості системи, і це виокремлює систему з оточуючого середовища як цілісний об'єкт.

3. Наявність визначеної організації, що проявляється у зменшенні ступеня ентропії (невизначеності) системи порівняно з ентропією системоутворюючих факторів. До таких факторів належать кількість елементів системи, кількість суттєвих зв'язків, якими може володіти елемент, тощо.

4. Наявність інтегративних властивостей, тобто притаманних тільки системі і не притаманних жодному елементу по окремоті. Це свідчить про те, що хоча властивості системи і залежать від властивостей елементів, вони не визначаються ними повністю. Отже, система не зводиться до простої сукупності елементів і, розчленовуючи її на окремі частини, неможливо пізнати всі властивості системи загалом.

Що є спільного між радіоприймачем, деревом, атомом? Всі ці об'єкти складаються з різних компонентів. Радіоприймач - з радіодеталей, дерево з коренів, стовбура, листя і т. ін., атом - з протонів, нейтронів, і електронів. Але у всіх цих об'єктів є властивості, які неможливо отримати простим складанням або усередненням властивостей компонентів.

Властивість радіоприймача – переводити радіохвилі у звукові хвилі. Цю властивість неможливо отримати простим сумуванням ємностей, опорів та індуктивностей окремих деталей.

Властивість дерева – утворювати насіння, з якого можуть вирости нові дерева, а це не є сумою окремих стовбурів, листя, коренів і т. ін.

Властивість атому – утворювати енергетичні зв'язки з іншими атомами, причому енергія окремих атомів не є сумою, або середньою енергією зв'язку між елементарними частинами.

Таким чином, *тільки система володіє інтегративними (емерджентними) властивостями і їй притаманні синергетичні ефекти.*

*Синергетичний ефект* – взаємне резонансне посилення факторів.

І ми самі, і оточуючий нас світ, це величезний набір систем. Людина постійно змушена мати справу з системами, тому, уміння передбачувати їх інтегративні властивості, досить часто суттєво полегшує життя. Між іншим, емерджентні властивості будь-якої системи, як правило, неочевидні. Для того, щоб їх передбачати або створити, потрібно володіти певним інструментарієм, який іменується „системний підхід”. У загальному вигляді поняття „система” характеризується:

- множиною елементів;
- зв'язками між ними;
- цілісним характером матеріального об'єкта, явища або процесу.

Аналіз різних тлумачень терміну „система” свідчить, що можна виокремити такі головні групи властивих системам властивостей, які характеризують:

- сутність і складність систем;
- зв'язок систем із зовнішнім середовищем;
- цілеспрямованість систем;
- параметри розвитку та функціонування систем.

Система визначається завданням системних об'єктів, властивостей і зв'язків. Системні об'єкти - це вхід, процес, зворотній зв'язок і обмеження. Системи функціонують у певному зовнішньому середовищі. Для розуміння того, як система виконує свої функції, необхідно дізнатися, як всі її елементи взаємопов'язані один з одним і як вони пов'язані із зовнішнім середовищем. Наприклад, щоб зрозуміти, як годинник відмірює час, треба вивчити механізм взаємодії його частин між собою; а збагнути, яким чином годинник показує час, можна тільки вивчивши взаємовідносини між годинником і користувачем.

Звідси стає зрозумілим, що у кожній множини елементів, які входять в „систему”, повинен бути визначений головний вихід, який відображує цільове призначення даної системи. Крім головного виходу у кожній системі можуть бути ще побічні виходи, котрі можуть проявлятися або в якості прикрих витрат від можливості здійснення головного виходу, або як спеціально спроектовані додаткові (побочні) виходи з метою обслуговування головного входу або будь-яких інших потреб.

*Входом називається те, що змінюється при протіканні даного процесу.* В багатьох випадках компонентами входу є „робочий вхід” (те що обробляється) і процесор (те що оброблює).

*Виходом називається результат, або кінцевий стан процесу.*

Процес переводить вхід у вихід. *Здатність перетворювати даний вхід в даний вихід називається властивістю даного процесу.*

Зв'язки визначають проходження процесів, тобто що вихід одного процесу є входом іншого процесу. Всякій вхід системи є виходом цієї або іншої системи, а всякий вихід - входом. Виділити систему в реальному світі - значить вказати всі процеси, які дають даний вихід.

Крім зазначених виходів, в кожній системі повинні бути елементи і зв'язки, котрі забезпечують стійке і довготривале її функціонування. Усталеність або стабільність, як здатність повертатися до попереднього стану після випадкових відхилень, здатність чинити опір зовнішнім збурюванням та адаптуватися до змін зовнішнього середовища, є головною позитивною рисою будь-якої системи, внаслідок якої системи і користуються такою особливою увагою.

*Штучні системи - це такі системи, елементи яких зроблені людьми, тобто є виходом свідомо виконаних процесів людини.*

*Під „великою” (великомасштабною) системою розуміють систему, число підсистем якої дуже велике, а склад різномірний.*

Можна виділити наступні п'ять типів систем. Твердих границь в цію градації немає. З урахуванням майбутнього матричного представлення систем (метод структурних матриць) можна запропонувати наступні границі:

- **J** від 1 до 9 елементів - малі;
- **J** від 10 до 99 елементів - середні;
- **J** від 100 до 999 елементів великі (складні);
- **J** від 1000 до 9999 елементів надвеликі.

*Підсистема* – частина системи, яка володіє властивостями системи.

*Середовище* – оточення, з яким взаємодіє система. Системи, які взаємодіють з середовищем, називаються „відкритими”. „Закриті” („замкнуті”) системи середовища не мають. Середовищем для однієї з підсистем можуть служити інші підсистеми, або частина їх, а також інші „сторонні” системи. *Середовище* – також система.

*Стан системи (об'єкта)* – упорядкована сукупність значень внутрішніх і зовнішніх параметрів, які визначають хід процесів, що відбуваються в системі. Множина станів системи може бути кінцевою, лічильною або континуальною (від лат. *Continium* – безперервний, суцільний).

Стан системи описується за допомогою набору характеристик – властивостей, що складають сукупність, яка визначає стан та значення цих характеристик в момент часу, котрий відповідає опису стану. Процес зміни об'єкта на певному інтервалі часу представляє собою послідовність станів, які приймає об'єкт в кожний момент часу на цьому інтервалі. Даний процес описується шляхом завдання початкового (вихідного) стану і зміни цього стану для кожного моменту часу на заданому інтервалі.

*Поінформованість суб'єкта* – складна властивість, яка характеризує здатність суб'єкта, використовуючи наявну у нього інформацію, відомості, знання, формувати правильні судження та утілювати на їх основі правильні рішення. Поінформованість, як складна властивість, визначає стан суб'єкта, котрий характеризується рівнем інформованості.

*Рівень поінформованості суб'єкта* – характеристика суб'єкта, яка визначає ступінь „далекості” цього стану від стану, прийнятого за початковий (вихідний) стан.

*Показник поінформованості* – кількісна характеристика, яка визначає рівень поінформованості суб'єкта.

*Критерій оцінки властивості* – правила (методика), за допомогою яких визначають відповідність інтенсивності властивості пред'явленим вимогам.

*Елементом системи називається певний об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), який володіє рядом важливих особливостей, але внутрішня будова (зміст) якого є безвідносним до мети розгляду.*

Позначимо елементи як  $A$ , а всю їх сукупність - через  $\{M\}$ . Належність елемента сукупності прийнято записувати:

$$A \in \{M\}.$$

*Поведінка системи* – розгорнута у часі послідовність реакцій системи на зовнішні впливи.

Системи можуть бути:

- детермінованими;
- стохастичними;
- хаотичними.

До детермінованих відносяться системи з чітко окресленими причинно-наслідковими зв'язками, котрі визначають подальший стан системи, тобто в детермінованих моделях всі взаємозв'язки, змінні і константи задаються точно, що призводить до однозначного визначення результуючої функції.

Поведінка стохастичних систем носить імовірний характер і визначається законами розподілу випадкових величин.

До хаотичних відносяться системи поведінку яких передбачити неможливо.

*Структура системи* (від лат. Structura – побудова, розміщення) – внутрішня побудова системи, певний взаємозв'язок складових частин системи.

Структура може бути простою або складною, в залежності від кількості і типу взаємозв'язків між частинами (елементами) системи. В складних системах повинна існувати ієрархія, тобто впорядкування рівнів підсистем, частин і елементів. Від типу і впорядкованості взаємовідношень між компонентами системи в значному ступені залежать функції систем та ефективність їх виконання.

*Властивості системи.* Як і всяке фундаментальне поняття, термін „система” краще всього конкретизується в процесі розгляду його властивостей. Існують ряд властивостей, якими повинний володіти об'єкт, щоб його можна було вважати системою. Розглянемо детальніше основні властивості системи.

Критерії оцінювання властивостей систем можуть бути класифіковані на три категорії [9]:

- критерії придатності;
- критерії оптимальності;
- критерії переваги.

*Загальність та абстрактність.* В якості „системи” можуть розглядатися будь-які об’єкти, предмети, явища, процеси незалежно від їхньої природи.

*Множинність.* Одна і та ж сукупність елементів може утворювати різні системи, кожна з яких визначається конкретними системоутворюючими відношеннями та властивостями.

*Цілісність і подільність.* Система є передусім цілісною сукупністю елементів. Це означає, що, з одного боку, система, це цілісне утворення, а з іншого в її складі чітко можуть бути виокремлені цілісні об’єкти (елементи). Однак не компоненти утворюють ціле (систему), а навпаки – при поділі цілого виявляють компоненти системи. Отже, *первинність цілого, це головний постулат теорії систем.* Система, перед усім, є *цілісна сукупність елементів.* При певних умовах елементи системи можуть розглядатися як підсистеми. Це означає, що, з однієї сторони, система – цілісне утворення, а з іншої – у її складі можуть також бути виділені деякі цілісні об’єкти (елементи). При цьому елементи існують тільки в системі. Поза системою, це в кращому випадку об’єкти, що володіють „системно-значимими властивостями”. При входженні в систему, елемент здобуває системно-визначену властивість замість системно-значимої.

## **5.2. Мета системного аналізу і його основні завдання**

Надамо визначення поняття *системний аналіз.* Перш за все необхідно відмітити, що однозначного визначення поняття «системного аналізу» до сьогодні не існує. В спеціальній літературі (головним чином у філософській, наприклад, у Блауберга І. В., Юдіна Є. Г., Садовського В. М., Уємова О. І. та інших), системний аналіз ототожнюється з *системним підходом,*



або з *системними дослідженнями*. Але, на погляд інших науковців, системний підхід і системні дослідження – це різні за своїм рівнем методологічні поняття.

У більшості західних літературних джерел, системний аналіз розглядається як синонім терміну «системний підхід».

*Системний підхід* – комплексне вивчення досліджуваного об'єкта як єдиного цілого з позицій системного аналізу.

Системний підхід означає урахування всіх взаємозв'язків, вивчення окремих структурних частин, виявлення ролі кожного з них в загальному процесі функціонування системи і навпаки, виявлення впливу системи в цілому на окремі її елементи [2,20,24,25].

В системному аналізі можна виділити ряд етапів (процедур). Не всі вони достатньо строго формалізовані. В той же час, навіть досягнутий рівень формалізації системного підходу робить його дуже ефективним засобом вирішення складних проблем. При цьому виділяються основні етапи (рис. 5.1):



**Рис. 5.1. Основні етапи системного аналізу**

*Постановка завдання* в системному аналізі відрізняється від постановки завдання в математиці. При постановці завдання в системному аналізі, перш за все необхідно з'ясувати і сформулювати мету дослідження.

дження. Необхідно також з'ясувати, що послужило причиною виникнення даного дослідження. Постановка завдання – один з найвідповідальніших етапів розробки. На цьому етапі, як правило, долучаються групи фахівців, котрі можуть висвітити всі основні сторони вирішуваної проблеми. Зазвичай, такі групи працюють під керівництвом фахівців з системного аналізу (системотехніків), а це пред'являє до останніх, цілий ряд серйозних кваліфікаційних вимог. В процесі роботи такої групи необхідно забезпечити достатню глибину вивчення питання, уміти організувати роботу фахівців різних областей, уміти об'єднати різні думки, представлені на різних спеціалізованих мовах.

*При структуризації* проводять межу між системою і зовнішнім середовищем. Для цього спочатку виділяють всі елементи, пов'язані з виконуваним дослідженням, а потім відокремлюють істотні елементи від неістотних. Потім розділяють елементи, на ті що відносяться безпосередньо до системи, і на ті що відносяться до зовнішнього середовища. Всяка структуризація має умовний характер і залежить від мети дослідження. Після розподілу елементів на систему і зовнішнє середовище, проводять окрему структуризацію для зовнішнього середовища і для системи. У зовнішньому середовищі виділяють моменти верхнього рівня для даної системи і елементи систем, що знаходяться на одному рівні з даною системою. У самій системі виділяють елементи підсистеми, основні зв'язки, входи, виходи.

*Моделлю* є спрощене представлення реальних об'єктів і явищ, котре створюється з метою їх вивчення і можливого подальшого вдосконалення. До моделі пред'являють дві основні суперечливі вимоги: вони повинні бути простими і при цьому достатньо точними (адекватними). *Модель адекватна об'єкту, якщо при однакових вхідних діях забезпечується однакова реакція на виході (експериментальна перевірка).* При побу-

дові математичної моделі спочатку описують всі елементи, підсистеми і зв'язки за допомогою набору параметрів. Потім встановлюють кількісні і функціональні зв'язки між виділеними показниками.

На етапі *дослідження моделі* виявляють властивості, котрі цікавлять замовника, дослідника; закономірності в системі і проводять їх порівняння з бажаними. У разі неспівпадання, проводиться аналіз можливості зміни структури і параметрів моделі для отримання бажаних результатів. Однак, зважаючи на складність систем, кількісні оцінки можливі далеко не завжди. Тому досить широко використовуються методи системного аналізу, які носять якісний характер (метод Дельфи, метод «мозкової атаки», метод сценаріїв і ін.).

На сьогодні, системний аналіз не є повністю сформованим науковим напрямом, проте досягнутий рівень розвитку дозволяє успішно застосовувати створені методи і підходи для вирішення більшості технічних та управлінських завдань. Саме тому системний підхід є невід'ємною частиною теоретичного багажу інженерної і управлінської підготовки.

У процесі системного аналізу створюється абстрактна концептуальна система, котра описується за допомогою символів або інших засобів і є певною структурно-логічною конструкцією, мета якої – слугувати інструментом для розуміння, опису та більш повної оптимізації поведінки реальної системи, зв'язків і відношень її елементів. Такою абстрактною системою може бути математична, комп'ютерна, словесна (вербальна) модель або система моделей. Отже, *системний аналіз – це методологія дослідження таких властивостей і відношень в об'єктах, які складно спостерігати і важко зрозуміти за допомогою представлення цих об'єктів у вигляді систем, і вивчення їх властивостей і зв'язків як відношень між цілями та засобами їх реалізації.*

Використовуючи термін «системний аналіз» для характеристики процедури проведення системного дослідження, мають на увазі:

- розчленування проблеми на її складові, котрі є більш доступнішими для розв'язання (вирішення);
- використання адекватних спеціальних методів для розв'язання окремих підпроблем;
- об'єднання часткових рішень таким чином, щоб проблема була вирішена у цілому.

Системний аналіз передбачає не лише органічне поєднання аналітичного розчленування проблеми на частини та дослідження зв'язків і відношень між цими частинами, а й вимагає розгляду цілей і завдань, загальних для усіх частин, і відповідно до отриманих результатів, здійснення синтезу загального рішення із частковими рішеннями.

Системний аналіз призначений для правильного вибору системного інструментарію з метою розв'язання поставленої проблеми. Оскільки мета системи формулюється, як правило, в загальних термінах, її необхідно конкретизувати і довести через послідовні рівні до конкретних критеріїв і показників.

Для досягнення мети дослідження системи, можуть використовуватися різноманітні засоби з різних сфер діяльності людини, а це викликає необхідність відокремлення єдиного методу (підходу) для відбору засобів її досягнення, що відповідають визначеним критеріям. Тому ще одним призначення системного аналізу є встановлення критеріїв відбору засобів для досягнення мети. Після визначення цих засобів та способів дій, приймаються багатоваріантні рішення. Отже, обґрунтування вибору рішення є ще одним важливим завданням системного аналізу.

Метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми є підвищення ступеня обґрунтованості рішення, що приймається.

Системні дослідження умовно можуть бути віднесені до першого рівня системної методології, коли охоплюється вся сукупність наукових та практичних проблем і задач, що вирішується за допомогою системних методів.

Системний підхід в ієрархії системної методології займає дещо нижчий рівень і має на меті визначення найважливіших принципів та процедур системного дослідження певного об'єкту чи явища.

Необхідно підкреслити, що означені вище поняття, не мають принципового значення при вивченні системних методів аналізу і потребують більш глибокого теоретичного осмислення з філософської точки зору. Не вдаючись у науково-філософські роздуми, відзначимо, що кожне із вищеназваних понять має право на існування. Головне не в тому, як будуть названі ті чи інші дефініції, важливо зрозуміти їх значення для науково-практичного використання. І тут чи не найважливішу роль відіграє системний аналіз, який має більш конкретне визначення.

*Системний аналіз* – це сукупність методологічних засобів, що використовуються для підготовки та обґрунтування рішень при дослідженні складних проблем, об'єктів та явищ різної природи і характеру, які розглядаються у вигляді систем.

Виходячи з цього визначення, системний аналіз в економіці та управлінні часто розглядали як методологію прийняття рішень (Гвішіані Д. М., Джонсон Р. А., Каст Ф. Е., Квейд В., Месарович М., Оптнер С. А. та інші).

Залучення методів системного аналізу з метою прийняття рішень, необхідно перш за все тому, що зазвичай, при розгляді складних систем, розв'язанні складних проблем, доводиться здійснювати вибір в умовах невизначеності, при наявності факторів, що не піддаються строгій кількісній оцінці. Процедури і методи системного аналізу спрямовані на висування альтернативних варіантів вирішення певної пробле-

ми, виявлення області невизначеності по кожному із варіантів і співставлення варіантів за тими чи іншими критеріями їх оцінки.

Системний аналіз має специфічний статус. З однієї сторони, він оснащений різними методами і процедурами, як запозичених з сучасних наук, так і спеціально розроблених для нього. З іншої сторони, у розвитку системного аналізу відсутня тенденція до оформлення його в чітко закінчену теорію. В системному аналізі тісно переплетені елементи науки і практики. Стосовно техніки, системний аналіз передбачає виконання таких функцій:

- формулювання основної мети та другорядних цілей (підцілей);
- вивчення об'єкту як системи з виділенням в ній певних підсистем;
- дослідження структурно-функціональних зв'язків між підсистемами і елементами системи;
- виявлення альтернативних варіантів досягнення головної мети і певних підцілей;
- узгодження цілей окремих рішень з глобальною метою.

Маючи перед собою складний технічний об'єкт або систему, перш за все виникає необхідність визначити головну мету функціонування цього об'єкта або системи, тобто встановити, заради чого він або вона існує. Якщо в якості об'єкта виступає якась наукова або технічна проблема, то необхідно при її вирішенні визначити, для чого вирішується ця проблема. Але на шляху до досягнення основної мети виникає низка менших проблем (задач), які попередньо повинні бути вирішені і перед тим, як їх вирішувати, треба теж знати, для чого вони вирішуються. Виявляється, що *вірно визначити основну і другорядні цілі можливо лише при умові, якщо об'єкт вивчення буде розглядатися у вигляді системи, тобто не простого набору якихось елементів, а таких, які знаходяться в певних взаємозв'язках і взаємозалежностях.*

Встановлення та вивчення взаємозв'язків і залежностей об'єкта як системи, важливо як з точки зору визначення необхідного набору функцій об'єкта вивчення, так і з точки зору умов їх реалізації. Останні, у свою чергу, впливають на появу не одного, а певної кількості варіантів функціонування об'єкта або ж вирішення проблеми. Саме таким чином формуються альтернативні рішення. Із можливої сукупності рішень вибирається найефективніше. Ця вимога досягається при умові, що усі другорядні цілі також спрямовані на досягнення основної мети.

Спираючись на висвітлені вище завдання системного аналізу, очевидно, що сучасний інженер не в змозі оволодіти складними системами, вирішити певні технічні проблеми без оволодіння методами системного аналізу. Справа в тому, що сучасна наука і техніка, та управління нею - це досить складні і взаємозалежні системи. Кожна з них, вимагає вміння визначити їх складові - функціональні підсистеми (комплекси, системи, підсистеми, об'єкти, елементи, режими діяльності, управляючі системи і об'єкти управління, програми управління тощо).

Системний аналіз спрямований на розв'язання складних проблем. Проблема виникає тоді, коли є розходження між бажаним і дійсним, тобто це абстрактна категорія, котра відображує розуміння людьми мотивів своєї діяльності. Проблеми породжуються та розв'язуються людьми, а тому поняття «проблема» зазвичай має людські риси сприйняття, які обумовлені:

- неясністю розуміння проблеми;
- складнощами постановки проблем на віддалену перспективу;
- складністю класифікації проблем і, як наслідок, вибір неадекватних засобів їх розв'язання;
- спотвореною оцінкою проблем (близькі, але дрібні проблеми затуляють великі, але віддалені);
- неправильною оцінкою значимості проблем внаслідок вузькопрофесійної точки зору;

– змішуванню цілей, які необхідно досягнути, з засобами їх досягнення.

Системний аналіз зазвичай, застосовується для розв'язання складних проблем, пов'язаних у тій або іншій мірі з діяльністю людей. Людську діяльність умовно можна поділити на дві області:

– рутинна діяльність, розв'язання регулярних, щоденних завдань;

– розв'язання нових задач, які виникають вперше.

*Метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми* повинно бути підвищення ступеня обґрунтованості прийманих рішень.

Для системного аналізу важливими є наступні методологічні принципи:

– органічна єдність суб'єктивного та об'єктивного;

– структурність системи, котра визначає цілісність та стійкість характеристик системи;

– динамізм системи;

– міждисциплінарний характер системних досліджень;

– органічна єдність формального та неформального при проведенні системного аналізу.

Окрім того, задачі (проблеми) розрізняються за ступенем їх структурованості:

– добре структуровані та сформульовані кількісно;

– слабо структуровані, в яких зустрічаються як кількісні, так і якісні оцінки;

– неструктуровані, якісні проблеми.

Перший тип проблем не потребує системного аналізу, оскільки існує потужний апарат математичного моделювання спрямований на строгі кількісні методи розв'язання. Основною областю застосування методів СА є слабо структуровані проблеми, а для розв'язання неструктурованих проблем у більшості випадків застосовуються евристичні методи.

Потреба в системному аналізі виникає у тому випадку, коли виникають наступні ситуації:



- розв'язується нова проблема і за допомогою системного аналізу вона формується. Визначається, що і про що потрібно дізнатися, і хто повинен знати;
- проблема має розгалужені зв'язки, котрі викликають віддалені наслідки в різних галузях і прийняття рішення у таких випадках, потребує врахування сукупної ефективності та повних витрат;
- існують різноманітні варіанти розв'язання проблеми або досягнення взаємопов'язаного комплексу цілей, які важко або неможливо порівняти;
- створюються нові складні системи;
- здійснюється вдосконалення, реконструювання виробництва, реінженерія бізнес-процесів;
- при створенні інформаційних систем та комп'ютерних систем управління;
- коли важливі рішення повинні прийматися за наявності невизначеності та ризику та (або) на достатньо віддалену перспективу.

Різноманітність задач, цілей дослідження, об'єктів дослідження, приводить до існування різних методик СА, які базуються на єдиній методології. Це пояснюється тим, що існують певні об'єктивні закони людської діяльності, які виявляються при розв'язанні різних проблем. Ці закономірності, виявлені шляхом узагальнення досвіду та теоретичних досліджень, і становлять основу методології СА. Тому методики розв'язування системних задач, розроблені для різних конкретних випадків, подібні між собою.

Дослідження систем реалізується з метою:

- побудови систем;
- управління та модифікації;
- досягнення певної мети (наприклад, людина являє систему, котра діє з метою збереження власного життя).

Система функціонує для того, щоб реалізувати повне призначення, однак на її функціонування при цьому, впливають збурення. Крім того, не всі потен-

ційні проблеми, які можуть з'явитися у процесі експлуатації системи, можуть бути враховані на етапі її проектування, а тому система повинна мати здатність корегувати свою поведінку та використовувати механізм оберненого зв'язку для забезпечення стабільності функціонування.

Отже, аналіз стійкості системи має першочергове значення і включає наступні аспекти:

- аналіз стійкості всіх компонентів системи;
- аналіз стабільності структури системи;
- аналіз усталеності цілей системи, котрі можуть змінюватись у процесі експлуатації та при виникненні конфліктів;
- аналіз усталеності взаємних зв'язків з іншими системами;
- аналіз усталеності у взаємодії системи та зовнішнього середовища у випадках, коли внутрішні зміни не можуть стабілізувати систему.

Результати формуються в моделях розглядуваних збурень, однак, за певних умов можливе виникнення розривної поведінки системи, котра проявляється у формі катастроф як не передбачуваний розрив або детермінована втрата раптової усталеності технічної системи.

*Декомпозиція* – це:

1) поділ опису складного об'єкта на частини і роздільне дослідження властивостей об'єкта по виділених частинам;

2) метод, за допомогою якого системи поділяються на підсистеми або складові частини, цілі на підцілі, задачі на ряд взаємно пов'язаних підзадач, кожна з яких функціонує і вирішується незалежно одна від одної, а потім виконується їх ув'язування між собою.

Декомпозиція – один з найбільш широко використовуваних прийомів зменшення розмірності розв'язуваних при проектуванні і управлінні задач.

### **5.3. Предмет теорії систем та системного аналізу**

Існує два різні підходи до трактування суті (предмету) системного аналізу. Прихильники першого наголошують на формальних (найчастіше математичних) засобах опису системи: блок-схеми, мережеві графіки, математичні рівняння тощо. Другий підхід базується на логіці системного аналізу; при цьому підкреслюється нерозривний зв'язок останнього з прийняттям рішень, які полягають у виборі певного оптимального напрямку дій серед декількох можливих альтернатив. У цьому випадку, системний аналіз розглядається передусім як методологія пізнання й упорядкування, тобто так звана структуризація проблеми, котру необхідно вирішувати з використанням формальних методів та застосуванням комп'ютерної техніки [2,31,32,36,37].

Отже, сутність системного аналізу полягає не у використанні математичних методів і процедур, а у співставленні альтернатив (по можливості, у кількісній формі) на основі певної логічної послідовності кроків, котрі можуть бути повторені та перевірені іншими дослідниками. *При цьому системний аналіз дозволяє суттєво поглибити і розширити осмислення сутності системи, її структури, організації, цілей і завдань функціонування, закономірностей розвитку, визначити оптимальні шляхи і методи управління.*

Системний аналіз базується на методологічних принципах:

- органічна єдність об'єктивного та суб'єктивного в процесі наукового дослідження;
- структурність системи, котра визначає цілісність і усталеність її характеристик;
- динамізм системи;
- міждисциплінарний характер системних досліджень;

– органічна єдність формального та неформального підходу при проведенні аналізу.

До основних особливостей системного аналізу можна віднести наступні:

– розглядаються всі теоретично можливі альтернативні шляхи і засоби досягнення мети, оптимальна комбінація та сполучення різних методів і засобів;

– альтернативи оцінюються з позицій перспективи, зокрема для систем, котрі мають стратегічне значення;

– відсутні стандартні, строго детерміновані рішення;

– чітко розмежовуються різні точки зору при вирішенні однієї проблеми;

– застосовується підходи до вирішення проблем, для яких не повністю визначені вимоги щодо термінів реалізації та вартості;

– визнається принципове значення організаційних і суб'єктивних чинників у процесі прийняття рішень і відповідно до цього, розробляються процедури широкого застосування якісних (логічних) міркувань в аналізі й узгодженні різних точок зору;

– особлива увага приділяється факторам ризику і невизначеності, їх врахуванню й оцінці при виборі оптимального рішення серед декількох можливих варіантів.

У процесі будь-якого наукового або практичного дослідження, виникає потреба у розв'язанні проблем трьох видів:

– добре структуровані або кількісно визначені проблеми, в яких суттєві залежності виявлені та виражені у числах і символах (методологія дослідження операцій, математичні методи і моделі тощо);

– неструктуровані або якісно визначені проблеми, що містять лише опис основних ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими зовсім не визначені (евристичні методи, інтуїтивні рішення);

– слабо структуровані або змішані проблеми, котрі містять якісні та кількісні елементи, причому домінують якісні, мало визначені та невизначені сторони проблеми, до яких належать більшість соціальних, економічних, політичних, управлінських, технічних проблем.

Типовими проблемами системного аналізу є:

- перспективні (стратегічні) проблеми, що повинні вирішуватись у майбутньому;
- проблеми, які характеризуються широким набором альтернатив;
- проблеми, котрі вимагають значних ресурсів і містять елементи ризику;
- проблеми, котрі мають складну внутрішню структуру;
- проблеми, для яких не повністю визначені вимоги щодо вартості і часу.

Саме ці проблеми є основною сферою застосування системного аналізу. Системний аналіз як сукупність методів і засобів розробки, прийняття й обґрунтування рішень у процесі дослідження, утворення та управління системою передбачає:

- прийняття оптимального рішення, на основі багатьох альтернатив;
- оцінювання кожної альтернативи з позицій довготривалої перспективи;
- поглиблене розуміння й упорядкування (структуризація) проблеми;
- спрямування на розробку і прийняття нових принципів наукового мислення, яке враховує взаємозв'язки елементів цілого та суперечливі тенденції.

Основне практичне значення системного аналізу полягає не стільки у кількісній визначеності шляхів та способів вирішення проблеми, скільки у збільшенні ступеню її розуміння спеціалістами та експертами, котрі беруть участь у вирішенні цієї проблеми, і ви-

значенні альтернативних шляхів досягнення певної мети особами, відповідальними за ухвалення та здійснення управлінських рішень.

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

*Системний аналіз* – це метод дослідження предметної області за допомогою системного підходу.

*Предметна область* – частина реального світу, в якій функціонує система (існує проблема).

*Предметом теорії систем та системного аналізу* є вивчення великих (складних) систем навколишнього світу на основі системного підходу, вивчення внутрішніх і зовнішніх найбільш загальних характеристик системи, розробка методів аналізу систем та методів вирішення проблем, котрі виникають у цих системах під час практичної діяльності людини.

*Системний підхід* – методологія дослідження сукупності елементів в техніці, науці, природі, суспільстві, при якому система або проблема розглядається в цілому, а не розглядаються ізольовано окремі її підсистеми.

Використовуючи системний підхід, дослідник (системотехнік), або їх групи, вирішують визначену проблему. З цією метою, серед множини об'єктів матеріального світу, ними виділяється певна цілісність (система), котра призначена для розв'язання цієї проблеми. Тобто, вирішення певної проблеми повинно обов'язково бути системним. Однак вирішити проблему у загальному випадку, зазвичай можна декількома способами, іноді взаємовиключними. Ці способи рішення проблеми називають альтернативами.

*Альтернатива* – необхідність вибору між двома або більше можливостями, що виключають одна одну; кожна з цих можливостей.

Саме аналіз можливих альтернатив та послідовний вибір найкращої з них і буде системним підходом до вирішення певної проблеми.

Метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми є підвищення ступеня обґрунтованості рішення, що приймається, розширення множини варіантів, серед яких здійснюється вибір з одночасною ука-зівкою способів відкидання тих з них, які демонстрати-вно поступаються іншим. У максимально спрощеному виді, *системний аналіз – це певна методика, котра дозволяє не пропустити з розгляду важливі сторони і зв'язки досліджуваного об'єкта, процесу, явища.*

Компонентами системного аналізу є:

- методологія;
- апаратна реалізація;
- досвід застосування у різних областях знань і практики.

### ***Методологія системного аналізу***

*Методологія – сукупність прийомів дослідження, котрі застосовують у будь-якій науці відповідно до специфіки об'єкту її пізнання.*

*Методологія системного аналізу* включає визна-чення використовуваних понять, принципи систем-ного підходу, а також постановку і загальну характе-ристику основних проблем організації системних досліджень.

Визначення у методології зазвичай даються на словесно-інтуїтивному рівні і, як правило, є констру-ктивними. Загальноприйняті визначення створюють мову даної науки, впливають на наукове мислення. В системному аналізі, процес створення єдиних форму-лювань не є закінченим, і є досить актуальним у зв'язку з міждисциплінарним характером досліджень.

У центрі методології системного аналізу знахо-диться операція кількісного і якісного порівняння альтернатив, яка виконується з метою вибору альтер-нативи, котра підлягає реалізації. Якщо вимога альтернатив виконана, тоді можуть бути отримані і кіль-кісні оцінки. Цього можна досягти, якщо враховані

всі альтернативи і є правильні оцінки кожного елемента. Так реалізується ідея виділення *«всіх елементів пов'язаних з даною альтернативою»*, тобто ідея, яка на побутовій мові виражається як *«всебічне урахування усіх обставин»*. Виділювана цим визначенням цілісність і називається в системному аналізі повною системою або просто системою.

*Системний аналіз – це методологія розв'язання проблем, яка заснована на концепції систем.* Об'єкт пізнається як система тоді і тільки тоді, коли відносно нього вирішується задача певного (системного) типу.

Але як виділити цю цілісність, «систему», як встановити, входить даний елемент в дану альтернативу чи ні? Єдиним критерієм може бути участь даного елемента у процесі, що призводить до появи вихідного результату даної альтернативи. Тому, поняття *процесу* виявляється центральним поняттям системного аналізу.

Таким чином в основі системного аналізу є процес. *Не може бути системного мислення без ясного розуміння процесу.* *Принципи системного підходу – це положення загального характеру, котрі є узагальненням досвіду роботи людини із складними системами.* Часто їх вважають ядром методології. Постановка і характеристика проблем системних досліджень (наприклад, цілеспрямована структуризація, оптимальне чергування виконавських та управлінських операцій, задача про систему з плаваючою межею між нею і зовнішнім середовищем і т. ін.) складають в даний час найменш висвітлену частину методології системного аналізу.

### ***Апаратна реалізація***

*Під апаратною реалізацією* розуміють стандартні прийоми моделювання прийняття рішень у складній системі і загальні способи роботи з цими моделями. Модель будується у вигляді пов'язаних множин (в найпростішому випадку - ланцюжків) окремих про-



цедур. Системний аналіз досліджує як організацію таких множин, так і вид окремих процедур, які максимально пристосовані для прийняття узгоджуваних і управлінських рішень у складній системі.

Модель прийняття рішення, частіше всього зображується у вигляді схеми з комірками, зв'язками та логічними переходами між цими комірками. Комірки містять конкретні дії процедури, які можуть мати різноманітний характер. Спільне вивчення процедур та їх організації, впливає з того, що без урахування змісту і особливостей комірок, створення схем виявляється неможливим. Ці схеми визначають стратегію прийняття рішення у складній системі. Саме з пророблення пов'язаної множини основних процедур прийнято починати рішення конкретної прикладної задачі. Основна класифікація - розподіл процедур на формалізовані і неформалізовані. Системний аналіз припускає, що не все потрібно систематизувати і доповнювати строгими правилами дій. В певних ситуаціях неформалізовані рішення, які приймаються людиною, є більш преферентнішими, і активність людини усередині складної системи може визначати успіх роботи з нею.

Таким чином, системний аналіз розглядає спільно і в сукупності, формалізовані та неформалізовані процедури, і однією з його задач є визначення їх оптимального співвідношення.

Формалізовані сторони окремих операцій, зазвичай, лежать в області прикладної математики і використання засобів обчислювальної техніки. У ряді випадків, математичними методами досліджується пов'язана множина процедур, а іноді проводиться і саме моделювання прийняття рішення. Все це дає право вести мову про математичну основу системного аналізу. Високий рівень абстрагування у математиці призводить, зокрема до того, що як фундаментально-прикладні, так і навіть чисто обчислювальні дослідження, зазвичай виконуються безвідносно до

того, як їхні результати будуть використовуватися далі. Питання зручного запису і передачі даних, оцінки кількості інформації та її зменшення, передача управління в іншу задачу або людині, традиційно вважаються такими, що лежать поза математикою, але представляють істотні ланки системного аналізу.

Найбільш близькими до системної постановки питань є такі області прикладної математики, як дослідження операцій і системне програмування. В системному аналізі існує і інший напрямок, котрий бере свій початок в дослідженнях складних, багатоаспектних проблем соціології, філософії, інших гуманітарних наук.

### ***Досвід застосування системного аналізу в різних областях***

Третя частина системного аналізу - *досвід застосування в різних областях* надзвичайно велика по змісту. Найважливішими розділами є науково-технічні розробки і різноманітні задачі техніки і економіки.

Проектування складного технічного об'єкта, створення та удосконалення сучасних автоматизованих систем становлять собою полігон для демонстрації системного аналізу в дії та ілюстрації практично усіх його положень і формальних структур. В процесі наукових досліджень і технічних розробок, на виробництві і в суспільному житті ми постійно маємо справу із сукупностями об'єктів, які прийнято називати складними системами. Їх відмітними особливостями є чисельні та різноманітні зв'язки між окремо існуючими елементами системи і наявність у системи емерджентної функції, яка відсутня у елементів (об'єктів), що складають систему. Зв'язки (взаємодії) між елементами складної системи характеризуються певним порядком, внутрішніми властивостями, спрямованістю на виконання функції системи. Такі особливості даної конкретної системи називаються її організацією.

Тенденцією розвитку систем є постійне їх ускладнення. Складні системи характеризуються:

- багатовимірністю – величезна кількість елементів, з яких складається система;
- багатокритеріальністю – використання декількох (багатьох) критеріїв;
- різноманіттям природи елементів;
- різноманіттям процесів управління.

Основним питанням при аналізі та синтезі складних систем, незалежно від їх області застосування, змісту і характеру, є питання вибору найбільш прийнятної альтернативи рішення. У свою чергу, вибір альтернативи залежить від здатності оцінити ефективність кожної альтернативи, можливості вибору оптимальної альтернативи та розрахунку необхідних для її реалізації коштів.

Таким чином, аналіз та синтез складних систем потребує нових підходів, які суттєво відрізняються від методів дослідження простих елементів. Дослідження складних систем ґрунтується несистемному підході.

### ***Аспекти системного аналізу***

Системний аналіз має декілька *аспектів*:

1. *Системно-компонентний* відображає вивчення системи шляхом розчленування її на компоненти;
2. *Системно-структурний* відображає вивчення внутрішніх зв'язків системи та взаємодію її елементів;
3. *Системно-функціональний* передбачає вивчення функціональних залежностей між елементами, між елементами та системою в цілому, між системою і зовнішнім середовищем, у тому числі і з іншими системами. При цьому може відбуватись як координація так і субординація компонентів. *Координація - узгодження компонентів по горизонталі. Субординація - узгодження компонентів по вертикалі (визначає підпорядкованість елементів);*

4. *Системно-інтегративний* вивчення системи з точки зору можливості об'єднання аналогічних систем;

5. *Системно-комунікаційний* потребує вивчення системи у взаємодії із зовнішнім середовищем (визначає вплив зовнішнього середовища на систему, а також вплив системи на зовнішнє середовище);

6. *Системно-історичний* потребує вивчення системи в історичному плані: коли була створена система, який шлях пройшла, який її сучасний рівень і чи є перспективи її розвитку.

По визначенню, система складається із компонентів та зв'язків між ними, а також їх зв'язків із зовнішнім середовищем. Система визначається завданням системних об'єктів, властивостей і зв'язків. В подальшому, компоненти і зв'язки ми будемо називати ланками системи.

*Компонент (елемент)* (від лат. *Elementum* – первісна величина) – неподільний елемент системи (матеріальний, енергетичний або інформаційний), який володіє певними особливостями, складова будь-якої системи. Елементи можуть в свою чергу представляти собою системи, тобто бути підсистемами. Тому при аналізі або складанні моделі, дуже важливо розчленувати цільну систему на кінцеву кількість елементів, щоб уникнути зайвої складності і не втратити при цьому адекватність моделі.

*Входом називається дискретна або безупинна множина контактів, через які дія середовища передається системі.*

#### **5.4. Принципи системного підходу при вирішенні інженерних задач**

Принципи системного підходу є загальними положеннями, що відображають абстраговані від конкретного змісту прикладних проблем. Спеціаліст, що не має фундаментальної методологічної підготовки, не може належним чином орієнтуватися в безперервно

оновлюючому різноманіттю мира техніки, навіть в відносно вузькій «своїй» спеціальній області, не говорячи вже про міжгалузеві задачі. Для повноцінної діяльності не достатньо мати навіть дуже пристойну, але відносно вузьку підготовку. Необхідно сформулювати свою світоглядну позицію, пов'язану з науковою і інженерною творчістю у вашій області діяльності.

Існує багато підходів до опису інженерної діяльності. В одних описується діяльність видатних вчених, інженерів, винахідників та інших творчих особистостей. Розповідається творча лабораторія діяльності, однак немає виходу на узагальнення, що дозволяють говорити про загальну методологію творчості. Проблеми творчості не пов'язуються з системним підходом і законами розвитку систем.

В інших підходах розглядаються проблеми методології інженерної творчості при винахідництві і проектуванні систем. Системний підхід в них явно не використовується, входить якимось інтуїтивно і підмінюється іншими поняттями.

В ряді робіт по системному підходу не розглядаються закони розвитку і функціонування систем. Багато робіт присвячено методам прийняття рішень, але вони не базуються на ідеях системності і законах розвитку систем. Є ряд робіт, присвячених методам створення нових технічних рішень. Але запропонована в них методологія не містить взаємозв'язку системного підходу, законів розвитку систем і методів прийняття рішень.

Ряд робіт присвячений аналізу творчої діяльності, психології творчості, впливу людського фактору на прийняття рішень, але без зв'язку з системним підходом, і закономірностями розвитку систем.

Тому основною задачею системного аналізу є представлення творчого процесу як зв'язок трьох нерозривних складових: *системний підхід – закони розвитку – прийняття рішень*.

## **Концепція системного підходу в інженерній діяльності**

Будь-яка інженерна діяльність вимагає передбачення, планування, зміни цілі при зміні ситуації. Без плану немає діяльності і не може бути результату.

Інженер свою діяльність планує повсякденно і щохвилини, на тривалий і на короткий час, використовуючи засвоєнні зразки або висуваючи нові ідеї.

Інженер планує не тільки свою діяльність але й чужу. Велика кількість не дуже помітних дій може призвести до грандіозних подій, тому відповідальність за планування повинна буди суттєвою, і її міру неможливо точно визначити.

*Інженерна діяльність складається з наступних головних компонентів:*

- формулювання мети (цілі);
- висування ідей;
- прогнозування;
- вирішення задачі (проблеми),
- виконання певної послідовності дій;
- контроль результатів.

*Формулювання цілі.* Сформулювати ціль значно складніше, чим іти за зрозумілою і прийнятою ціллю. Творча діяльність припускає аналіз ситуації і формування цілі у відповідності до існуючих тенденцій, які представляється найбільш корисною (ефективною).

Планування повинно забезпечити співпадіння або близьку відповідність підцілей, пов'язаних загальною ціллю. Цілі конкретизуються і трансформуються стосовно до виконавців і умов. Трансформація цілі включає їх до визначення. Через неповноту, невизначеність та запізнення інформації про ситуацію, ціль більш високого порядку завжди містить певну невизначеність, яку необхідно враховувати.

Постановка цілей і підцілей – послідовний ієрархічний процес. Визначення цілей і підцілей включає відпрацювання такої характеристики, як ефектив-

ність. При розгляді конкретних дій ефективність дозволяє кількісно порівняти варіанти і рішення. Оцінка ефективності вимагає критеріїв; в процесі їх утворення можна уточнити і конкретизувати ціль, що в свою чергу, впливає на критерії.

Необхідно відзначити деякі проблеми, які виникають при формуванні цілі, критеріїв і оцінці ефективності. Перша з них – правильне визначення цілі. Ціль, незважаючи на початкову невизначеність, повинна бути визначеною і однозначною, і той же час мотивувати ініціативу виконавців. Друга проблема – оцінка витрат ресурсів. Існує тенденція до зменшення витрат, пов'язаних з реалізацією бажаного плану, і перевищенню витрат пов'язаних з реалізацією небажаного, емоційно неприйняттого плану. Строгий кількісний аналіз оцінки ресурсів, їх надходження, оновлення і витрат у всіх деталях не завжди можливий. Третя проблема - оцінка витрат часу. Аналіз не може вийти за межі вихідних даних, а вони багато в чому залежать від оцінки часу. Четверта проблема – вибір критеріїв. *Адекватність критерію і цілі по змісту і рівню загальності – обов'язкова умова успіху.*

*Висування ідей.* Висування ідей включає вибір або обґрунтування способу досягнення цілі, способу отримання високої ефективності. Звичайно, можна прийняти один з відомих раніше розроблених і перевірених способів або способів, заснованих на відомій ідеї. В складних або конфліктних ситуаціях стереотипний прийом тільки в окремих, досить рідких випадках, може привести до успіху. Найбільш вірогідний і найкоротший шлях до успіху - пошук нової прогресивної ідеї. Те, що нові ідеї можуть відкидати попередній досвід, нічого не змінює.

Відомо, що інженерів на жаль, не навчають методам прийнятій рішень, якщо не вважати деякі методи математичного програмування, придатні для рішення ряду задач, що піддаються формалізації. Але дуже більшість інженерних задач формалізувати не

вдається. Не завжди навчають інженерів і системному підходу. Так що вести мову про системний підхід до прийняття рішень не доводиться. Однак становлення творчої особистості виявляється в кінцевому рахунку, в умінні прийняти ефективне рішення. Яку інформацію треба зібрати? Як діяти в умовах суперечливої надлишкової або недостатньої інформації? Мудрість рішень приходить ся осягати «своїм розумом». Багато рішень сприймаються без належного обґрунтування, свідомого системного аналізу.

По мірі ускладнення вирішуваних технічних задач все більше значення здобуває методологія наукової і інженерної творчості. Для прийняття рішення треба краще думати - таку рекомендацію нерідко можна почути в повсякденному житті. Безперечно, треба вчитися мислити, опановувати прийомами активізації розумового процесу. Однак тільки одне це доволі рідко призводить до результатів, якщо не користуватися системним підходом.

Дійсно, чим вирішити, як думати, треба визначити над чим думати, тобто правильно виділити проблемну ситуацію і поставити для неї задачу, визначити основне протиріччя системи і шукати засіб його подолання, не забуваючи про зв'язки системи, урахуванні обмежень. Щоб виявити проблемну ситуацію, доцільно провести аналіз (пошук) надсистеми, в яку входить дана система. Потрібний системний розумовий процес, системний підхід до прийняття рішень. Тільки тоді на кожному етапі цього алгоритму активізація мислення принесе найбільшу користь.

### **Системні підходи в інженерній діяльності**

В науковому та інженерному пізнанні об'єктів, систем, комплексів можна виділити декілька підходів:

- *емпірико-інтуїтивний*, найбільш древній підхід, заснований як на експериментах, так і спостереженнях об'єктів, систем, комплексів, та «вгадуванні» взаємозв'язків між ними;



– *дедуктивно-аксіоматичний*, заснований Евклідом в його «Началах» - спосіб дослідження, при якому окремі положення логічно виводяться із загальних положень (аксіом, постулатів, законів);

– *конструктивний підхід*, узагальнений Сократом, спосіб дослідження, що йде від окремого до загального, уникаючи догматизму;

– *асоціативний*, запропонований Максвелом і Ейнштейном, - базується на уловлюванні схожості між дуже віддаленими фактами і об'єднанні розрізнених елементів за допомогою нової, більш глибокої точки зору.

Конкретний акт пізнання неможливий без усіх цих (а можливо і інших) компонентів, а процес пізнання завжди спрямований одночасно від частин до цілого і від цілого до частин.

В дослідженні будь-якої системи, об'єкта можна виділити декілька головних етапів.

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

2. *Опис*: виразити на єдиній мові, різнорідні по фізичною природі явища і фактори.

3. *Встановлення критеріїв*: визначити, що значить «добре» і «погано» для порівняння альтернатив.

4. *Ідеалізація*: ввести раціональну ідеалізацію проблеми, спростити її до припустимої межі.

5. *Декомпозиція*: знайти спосіб поділу цілого на частини не втрачаючи властивостей цілого.

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

7. *Вирішення*: знайти рішення проблеми.

Традиційно, ці задачі (проблеми, кожна з яких може бути в свою чергу поділена на більш менші частини) розглядаються як етапи рішення; пропонується здійснити їх в тій чи іншій спосіб, однак строгої послідовності одержання рішення нема. Процедура може бути багаторазовою, циклічною, але обов'язково поетапною. Передбачається існування збіжності алгори-

тму рішення. На відміну від традиційних методів, системний аналіз використовує не тільки кількісні, але і якісні оцінки, відмовляється від традиційного поетапного рішення і не передбачає існування послідовного (обчислювального або не обчислювального) алгоритму рішення. Системний аналіз виходить з того, що для складних проблем такого алгоритму може не існувати взагалі, а людський розум саме призначений для рішення складних проблем.

*Системний підхід полягає у багатозв'язковості процесу рішення на основі розвитку і уточнення вихідної моделі за допомогою взаємодії її складових частин. Проблеми розглядаються спільно, у взаємозв'язку і діалектичній єдності. Розглядати проблеми ізолювано і послідовно, у відриві одна від одної і від середовища (оскільки кожна з проблем є частиною середовища або іншої проблеми) нерационально і неправильно.*

Схема системного підходу містить перераховані проблеми, але вирішуються вони не по черзі, а одночасно, при безупинній взаємодії складових частин. Якщо проблеми взаємозалежні, то прийдеться шукати для кожної множини рішень, а потім підбирати такі, які б узгоджувались між собою. При системному підході, тобто спільному рішенні проблем, вони взаємно обмежують області можливих рішень, відтинаючи більшість безперспективних альтернатив

Послідовний чи послідовно-циклічний (ітераційний) метод рішення задач характерний для аксіоматичних теорій. По цьому ж принципу працюють і обчислювальні машини, якщо забезпечити їх відповідною програмою або програмою для складання робочої програми. Людський розум на відміну від комп'ютерів, працює інакше, а системний аналіз заснований саме на людському мисленні.

Основним об'єктом системного аналізу є складні системи. Створити загальну теорію складних систем, достатньо конструктивну для рішення конкретних за-

дач, не вдається, труднощі тут принципові, гносеологічні. Створити теорії для кожної системи немислимо в силу практичних обмежень по часу і ресурсам. Питома вага складних систем у діяльності людства зростає настільки швидко, що їх створення і обслуговування стає ледь не центральною проблемою сучасності. Тому, на відмінність від ряду інших прикладних наук, у системному аналізі місце теорії зайняла модель.

### **Принципи системного підходу при рішенні інженерних задач**

Принципи системного підходу – це загальні положення, що відображають відношення, абстраговані від конкретного змісту наукових і прикладних проблем. Для вирішення конкретної наукової проблеми або проблемної ситуації принципи системного підходу повинні конкретизуватися, причому конкретизація визначається об'єктом і предметом наукового дослідження. В дослідженні складних систем необхідно виявити суттєві особливості проблеми, врахувати найважливіші взаємозв'язки на основі інтерпретації системних принципів до конкретних умов, що дає змогу досліднику піднятися на вищій рівень розуміння системи загалом, вийти за межі її розгляду. Адекватне застосування принципів системного підходу при дослідженні різних систем сприяє розвитку в досліднику особливого, системного типу мислення [35].

*Принципи системного підходу – ствердження, які узагальнюють досвід роботи людини із складними системами. У науковій літературі до основних принципів системного підходу пропонується відносити:*

- *принцип кінцевої цілі*: абсолютний пріоритет кінцевої (глобальної) цілі (мети);
- *принцип єднання* (єдності): сумісний розгляд системи як цілого і як сукупності частин (елементів, підсистем, системотворчих відношень);

– *принцип зв'язаності*: будь-яка частина (елемент, компонента) системи розглядається сумісно з її зв'язками та з її оточенням;

– *принцип модульної побудови*: в більшості випадків доцільно реалізувати декомпозицію на складові модулі (елементи) різного ступеня загальності та розглядати її як скупість модулів та зв'язків між ними;

– *принцип ієрархії*: корисно введення ієрархії частин (елементів) і (або) їх ранжування;

– *принцип функціональності*: спільний розгляд структури і функції з пріоритетом функції над структурою;

– *принцип розвитку*: необхідно врахувати змінність системи, її здатність до розвитку, розширення, заміні складових, накопиченні інформації;

– *принцип децентралізації*: з'єднання в прийнятих рішеннях і управлінні централізації і децентралізації;

– *принцип невизначеності*: урахування невизначеностей і випадковостей у системі.

Застосування системного підходу в процесі наукового дослідження, передбачає дотримання наступних системних принципів:

– *принцип цілісності* властивості системи до суми властивостей елементів, що її складають, залежність кожного елемента від його місця, ролі, функцій тощо в межах системи;

– *принцип структурності* - можливості опису системи через встановлення її структури, тобто зв'язків і відношень елементів, обумовленість поведінки системи не стільки поведінкою окремих елементів, скільки властивостями її структури;

– *принцип взаємозалежності структури і середовища* – система формує і виявляє свої властивості в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем, при цьому вона є провідним активним компонентом цієї взаємодії;

– *принцип ієрархічності* - кожний компонент системи, відповідно, може розглядатись як система, а досліджувана система - як один із компонентів більш глобальнішої системи;

– *принцип множинності опису кожної системи* – внаслідок принципової складності кожної системи її адекватне пізнання потребує побудови множини різних моделей, кожна з яких описує лише один аспект системи.

### ***Принцип кінцевої місії (остаточної, генеральної, глобальної) цілі (мети)***

Принцип кінцевої (остаточної, генеральної, глобальної) цілі (мети) означає, що в *цілеспрямованій системі все повинно бути підпорядковано глобальній цілі*. Будь-які спроби змін, удосконалювання і управління в такій системі повинні оцінюватися з точки зору того, допомагають чи заважають вони досягненню кінцевої цілі. Розпливчасті, не повністю визначені кінцеві цілі тягнуть за собою неясності в структурі і управлінні системою, і, як наслідок, неякісні дії в системі.

Принцип кінцевої цілі застосовують і до систем, які не є цілеспрямованими. В цьому випадку поняття кінцевої цілі замінюють поняттями основної функції, основного призначення, властивості системи. При цьому принцип вказує, що вивчення і робота з системою повинні проводитись на базі першочергового усвідомлення цих понять.

Наступні три принципи мають доволі тісний взаємозв'язок і іноді навіть об'єднуються в один принцип єдності і зв'язку. Принцип єдності – це орієнтація на «погляд усередину» системи або її частини, а принцип зв'язку - на «погляд зсередини». Рекомендоване в принципі єдності розчленованість системи із збереженням цілісних уявлень досить різко відрізняється від процедури виявлення усіх можливих зв'язків, що

рекомендується принципом зв'язаності. Процедура виявлення зв'язків, застосована до усієї системи цілком, що приводить до принципу урахування зовнішнього середовища, який нерідко згадують в літературі, але який можна не вважати самостійним.

### ***Принцип єдності, зв'язаності і модульності***

Система розглядається «ззовні» як єдине ціле (принцип єдності), водночас необхідний «погляд зсередини», дослідження окремих взаємодіючих складових системи (принцип зв'язаності). Принцип модульності передбачає розгляд замість складових системи її входів і виходів, тобто абстрагування від зайвої деталізації за умови збереження можливості адекватного описання системи.

### ***Принцип ієрархії***

Принцип ієрархії акцентує увагу на корисність відшукування або створення в системі ієрархічного (домінуючого) характеру зв'язків між елементами, модулями, цілями. Ієрархічні системи зазвичай досліджуються і створюються «зверху», починаючи з аналізу модулів першого ієрархічного рівня а в разі її відсутності дослідник повинен чітко визначити в якій послідовності розглядатимуться складові системи та напрямок конкретизації уявлень, тобто встановити їх ранги. Ранжирування може використатися і в сполученні з ієрархією в системі, наприклад, для введення черговості в модулях одного і того ж рівня.

Структура системи тісно пов'язана та обумовлюється її функціями, отже, створювати та досліджувати систему необхідно після визначення її функцій. У разі появи нових функцій системи доцільно змінювати її структуру, а не намагатися «прив'язати» цю функцію до старої структури.

### ***Принцип функціональності***

Принцип функціональності стверджує, що будь-яка структура тісно пов'язана з функцією системи та її складових і обумовлюється її функціями. Отже, досліджувати або створювати будь-яку структуру, необхідно після визначення її функцій в системі. На практиці цей принцип, зокрема, означає, що у випадку додання системі нових функцій доцільно переглянути її структуру, а не намагатися втиснути нову функцію в стару схему.

### ***Принцип розвитку***

Принцип розвитку – здатність до вдосконалення, розвитку системи за умови збереження певних якісних властивостей. Принцип розвитку, можливість певних змін при збереженні якісних особливостей, властивий майже всім природним системам. Для штучних систем, можливість розвитку, удосконалення, як правило, закладається в процесі створення системи. При створенні та дослідженні штучних систем межі розширення функцій системи та її модернізація повинні визначатись їхньою доцільністю.

При модульній побудові системи, такий розвиток, зазвичай зводиться до заміни і додавання модулів (частин). Можливості розширення функцій і модернізації закладаються в принципи побудови баз даних і знань, програмних комплексів, багатоцільових роботів і інших складних технічних систем. Здатність до розвитку штучних систем визначається наявністю таких властивостей, як самонавчання, самоорганізація, штучний інтелект.

Межі розширення функцій зазвичай визначені і досить обмежені. Але заміна частин, модернізація є безмежними. Практично безмежні і можливості запам'ятовування інформації, що ведуть до самонавчання, самоорганізації, штучному інтелекту. Таким чином, використання принципу розвитку лежить в основі розробки цих напрямків.

### **Принцип децентралізації**

Принцип децентралізації рекомендує, щоб керуючі впливи і рішення що приймаються виходили не тільки з одного центра (головного елемента), тобто був розумний компроміс між повною централізацією системи та здатністю реагувати на вплив зовнішнього середовища окремими частинами системи. Ситуація, коли всі важелі управління виходять з одного місця, називається повною централізацією. Такий стан вважається виправданим лише при особливій відповідальності за все, що відбувається в системі, і при нездатності частин системи самостійно реагувати на зовнішні впливи. Система з повною централізацією буде негнучкою, такою що не пристосовується, такою щоне володіє «внутрішньою активністю». Вельми ймовірно, що в такій системі канали інформації, які ведуть до головного елемента, виявляться перевантаженими, а саме цей елемент, будучи не в стані переробити таку кількість інформації, буде видавати неправильні команди управління.

Однак, чим вище ступінь децентралізації рішень в системі, тим складніше вони узгоджуються з точки зору виконання глобальної цілі. Досягнення загальної цілі сильно децентралізованої системи може забезпечуватися лише яким-небудь стало працюючим механізмом регуляції, що не дозволяє сильно ухилитися від поведінки, які ведуть до виконання цілей. Такий стан зустрічається достатньо рідко; у всіх цих випадках має місце ситуація з сильним зворотним зв'язком.

В системах, де сталі механізми регуляції відсутні, неминуча наявність того або іншого ступеня централізації. При цьому виникає питання про оптимальне поєднання команд ззовні (зверху) і команд, що вироблюються усередині даної групи елементів. Загальний принцип такого поєднання простий: ступінь централізації повинна бути мінімальною, що забезпечує виконання поставленої цілі. Поєднання централізації і



децентралізації має ще один аспект. Його окремими випадком буде передача зверху узагальнених команд, які конкретизуються на нижніх ієрархічних рівнях. Співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається метою та призначенням системи.

### ***Принцип невизначеності***

Принцип невизначеності стверджує, що маємо справу із системою, в якій нам не все відомо або все зрозуміло. Це може бути система з нез'ясованою структурою, з випадковим ходом процесів, із значною імовірністю відмовлень в роботі елементів, з невідомими зовнішніми впливами і т. ін. Окремим випадком невизначеності виступає випадковість - ситуація, коли вид події відомий, але він може наступити, або не наступити. На основі цього визначення можна увести повне поле подій – це така їх множина, про яку відомо, що одне з них наступить. Існує декілька способів урахування невизначеності в системі, кожний з яких заснований на інформації певного виду.

*По-перше*, можна оцінювати «найгірші» або в певному значенні «крайні» можливі ситуації і розгляд проводити для них. У цьому випадку визначається «гранична» поведінка системи і на цій основі робляться висновки про поведінку взагалі. Цей спосіб зазвичай називають методом гарантованого результату (оцінки).

*По-друге*, по інформації про імовірним характеристикам випадковостей (математичному очікуванні, дисперсії, іншим оцінкам) можна визначати імовірнісні характеристики виходів в системі. При цьому у зв'язку із своєрідним трактуванням імовірнісних результатів, отримуємо відомості лише про усередненні характеристики сукупності однотипних систем.

*По-третє*, за рахунок дублювання і інших прийомів виявляється можливим з «ненадійних» елементів компонувати достатньо «надійні» частини системи. Математична оцінка ефективності такого прийому

також заснована на теорії імовірностей і носить назву теорії надійності. В літературі зустрічається і ряд інших принципів. Одні з них носять характер дублювання або уточнення наведених вище (наприклад, принцип зовнішнього середовища), інші мають більш вузьку спрямованість або область застосування:

– *принцип повно важності* – дослідник повинний мати здібність, можливість (а в ряді випадків і право) досліджувати проблему.

– *принцип організованості* – рішення, дії, виводи в системі повинні відповідати ступеню її деталізації, визначеності, організованості, наприклад - крайня ситуація, - безглуздо керувати системою, у якій команди не виконуються.

– *принцип чутливості* (близький до принципу організованості) – втручання в системі повинні узгоджуватися з рівнем її реакції на втручання.

– *принцип згортання* – інформація і керуючі впливи згортаються (укрупнюються, узагальнюються) при прямуванні знизу вгору по ієрархічним рівням.

Принципи системного підходу мають дуже високий ступень узагальненості, тобто відображають відношення, які сильно абстраговані від конкретного змісту прикладних проблем. Таке знання нетипово для техніки і природних наук, в яких в основному використовуються ствердження і описи, придатні для безпосереднього застосування.

Для будь-якої конкретної системи, проблеми, ситуації принципи системного підходу можуть і повинні бути конкретизовані. Така прив'язка до розглядуваної проблеми проводиться дослідником. Він повинний наповнити конкретним змістом загальні формулювання принципів. Досвід роботи із складними системами показує, що це вельми корисно, тому що дозволяє краще виявити істотні сторони проблеми, не забути врахувати важливі взаємозв'язки в ній. У ряду випадків продумування конкретного змісту принципів системного

підходу дозволяє піднятися на новий рівень осмислення системи в цілому, вийти за рамки «вузького», «розглянутого зсередини» відношення до неї.

Відзначимо, що інтерпретація принципів для даного окремого випадку може приводити і до обґрунтованого висновку про незначимість того або іншого з принципів, або про відсутності умов для його застосування. Так, в системі може не бути ієрархії, вона може вважатися цілком визначеною, зв'язки можуть бути закладені в самій математичній моделі і не вимагати спеціального розгляду. Багатократне застосування дослідником принципів системного підходу в різних системах приводить до того, що у нього розвивається особливий тип мислення, який прийнято називати системним. Таке мислення характеризується умінням більш правильно (адекватно) ставити, а нерідко і вирішувати задачі, пов'язані із складними системами.

Іноді стверджують що принципи системного підходу зручні для критики вже наявних систем і менш придатні для створення нових. Такій погляд пов'язаний з тим, що ці принципи виникли з багаторазово повтореного людського досвіду. Однак є немало переконливих прикладів того, як істотно нові проблеми вирішувалися саме на основі широкого використання системних принципів.

## **5.5. Використання креативного підходу як інструменту в науці і системі інженерної освіти**

Існуюча система вищої освіти в основному орієнтована на репродуктивну форму передачі знань, що є стримуючим фактором розвитку творчої особистості, так як має ряд недоліків: 1) зневага емоційним аспектом в науці і освіті; 2) догматизм і репродуктивна форма пізнання; 3) невміння «думати руками»; 4) відставання навчальних програм від останніх досягнень в науці і техніці; 5) повтор (дублювання) дисциплін сере-

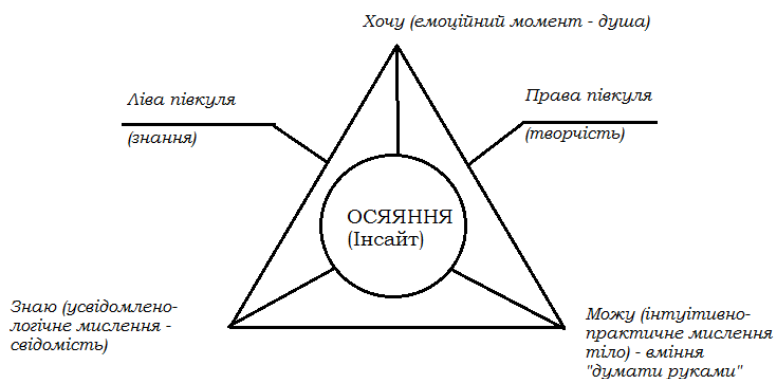
дньої школи; б) безперервні «революційні», часто неперевірені і непідготовлені перебудови в освітній системі без накопичення досвіду. Емоційне, естетичне і культурне виховання видатних особистостей: геніальних вчених, винахідників, відомих конструкторів, педагогів, художників, архітекторів, письменників та інших творчих особливостей, виробляє наполегливість, цілеспрямованість в досягненні поставленої мети.

Заформалізованість навчальних програм і догматизм в передачі знань, теорій й теорем стримують розкриття творчої особистості і призводять до того, що здобувачі вищої освіти в напівусвідомленому вигляді викладають чужі думки, намагаються вгадати відповіді при тестуванні, сліпо вірячи в чужий авторитет, боявшись проявити себе і висловити власні ідеї і міркування.

Наукові спеціальні дисципліни повинні викладатися так, щоб здобувач вищої освіти (ЗВО) міг проводити самостійні спостереження і дослідження, отримувати результати (нехай навіть негативні) і висувати свої гіпотези і ідеї (нехай навіть фантастичні і, на перший час нездійсненні). Необхідно дозволити ЗВО 1-2 години на тиждень працювати над не вирішеною до цього часу проблемою, яка породжує віру в здатність знайти і створити нове.

Застарілі лабораторно-дослідні лабораторії деяких кафедр через недостатнє фінансування, відсутність навчально-виробничих майстерень, що повинно бути обов'язковим для майбутнього інженера, не дозволяють опанувати робочими професіями слюсаря, коваль, формувальника, ливарника, електрозварника, газозварника, токаря, фрезерувальника і т.д. Крім того, скорочення виробничих технологічних і конструкторських практик на підприємствах, заміна їх практиками на кафедрах або в приватних фірмах, профіль діяльності яких далеко від спеціальності, не дозволяє майбутньому спеціалісту швидко адаптуватись до реального виробництва.

Зневажливе відношення до фізичної праці як до заняття, яке не властиве інтелектуалам, не створює бажання перевірити на практиці ідеї, які можуть так і залишитись лише загальними ідеями. Необхідно вчити «думати руками», тобто кожен, хто бажає щось створити, повинен в досконалої оволодіти хоча б одним ремеслом в період навчання, щоб втілити свою ідею в метал, познати задоволення від фізичної праці.



**Рис. 5.2. Три складові успіху в творчості**

Саме ці мінуси серйозно стримують процес творчості, властивий видатним особистостям (рис. 5.2), і не дозволяють вирішити проблему, на якій працюють багато людей [35].

Здобувач вищої освіти має знати, якщо виріб або будь-яке інше нове рішення, до якого він прийшов самостійно, були виконані будь ким раніше (а він про це не знав), то це не применшує його заслуг як творця, а лише підтверджує його здатність до самостійного відкриття нового.

Для всіх творчих людей винахідливість грає не меншу роль, ніж професіоналізм. Здатність знаходити оригінальні рішення закладена в кожній людині, на-

вчити цьому не можна це необхідно розвивати. Для еволюції творчих здібностей майбутнього спеціаліста в системі освіти необхідно вводити дисципліни, які торкаються питань, пов'язаних з історією науки, техніки, інженерної діяльності, які присвячені видатним відкриттям і винаходам, методології творчості і ін.

Високі темпи розвитку науки і техніки в США [35] обумовлено це тим, що система безперервної освіти націлена на те, щоб розкрити і максимально використувати потенційні здатності і можливості школярів, студентів і спеціалістів. Середня протяжність навчання в американському університеті по повній програмі з моменту вступу до нього до моменту отримання докторського ступеню складає 10 років, а середній вік молодих людей, які захищають докторські дисертації, - 33 роки.

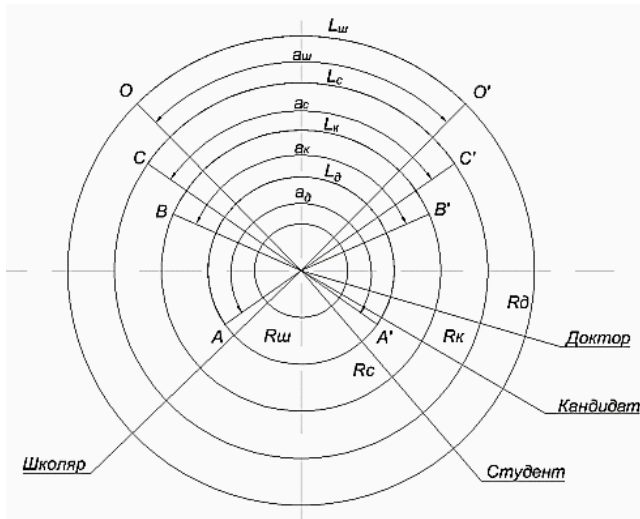
Репродуктивна форма передачі знань призводить до звуження світогляду спеціаліста і вузькій спеціалізації, що різко обмежує можливості людини в пошуку вирішення проблем різного характеру, відповідь на які часто лежить за межами вузької спеціалізації. Недоліки репродуктивної форми освіти можна проілюструвати графічними моделями з їх математичним трактуванням.

Отримуючи атестат зрілості, школяр має широкий світогляд (кут  $a_{ш}$ ) в різних областях отриманих знань по дузі окружності  $L_{ш} = AA' = a_{ш}R_{ш}$  з радіусом  $R_{ш}$  (рис. 5.3, 5.4). Вступивши до ВНЗ, студент поглиблює і розширює свої знання за рахунок фундаментальних і спеціальних дисциплін по дузі окружності, радіусом  $L_{ш} = BB' = a_c R_c$ . Проте при  $L_c > L_{ш}$  и  $R_c > R_{ш}$  його кругозір  $a_c$  звужується. Далі після закінчення аспірантури і захисту кандидатської дисертації, на потім – докторської з поглибленням і розширенням знань відбувається подальше звуження кругозору.

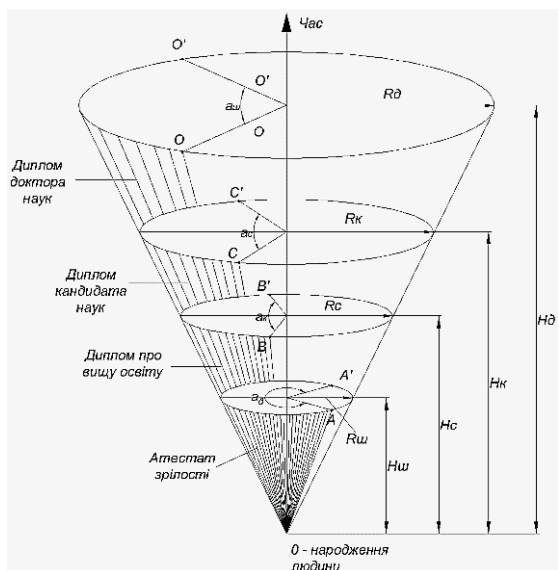
Таким чином за рахунок розширення знань ( $L_D > L_K > L_C > L_{Ш}$ ) (рис. 5.3.) і їх поглиблення ( $H_D > H_K > H_C > H_{Ш}$ ) (рис. 5.4.) відбувається звуження поля зору ( $a_D > a_K > a_C > a_{Ш}$ ).

В загальному вигляді при репродуктивній формі накопичення знань (об'єм  $V$ ) за рахунок вивчення фундаментальних дисциплін (глибина  $H$ ) і збільшення кількості спеціальних дисциплін (площа  $F$  на радіусі  $R$ ) відбувається спеціалізація зі зменшенням творчої активності і накопичення досвіду у вигляді вектору інерції мислення [35].

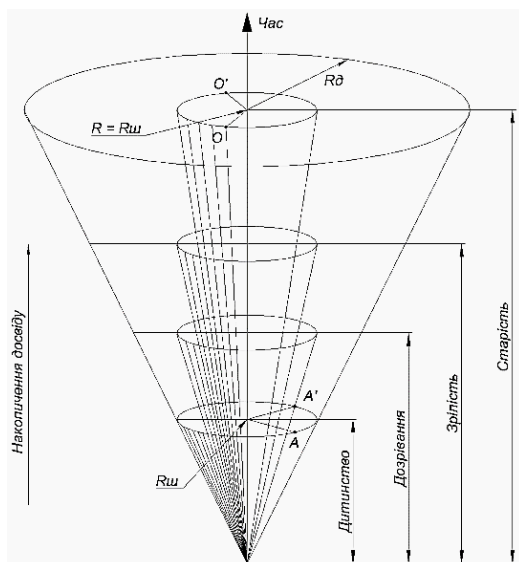
Для спеціаліста з середньою освітою і без поглиблених фундаментальних знань з накопиченням досвіду вузька спеціалізація ще більше звужує світогляд при  $R_{Ш} = R = const$  (рис. 5.5), якщо не займатись самоосвітою і перекваліфікацією.



**Рис. 5.3. Звуження світогляду за рахунок розширення спеціальних знань**



**Рис. 5.4. Звуження світогляду за рахунок поглиблення фундаментальних знань**



**Рис. 5.5. Звуження світогляду спеціаліста із середньою освітою**



Якщо весь об'єм  $V$  отриманих знань в початковий період часу прийняти у вигляді конусу з висотою  $H$  (рис. 5.4), то

$$V = \frac{\pi R^2 H}{3}, \quad (5.1)$$

де  $R$  – рівень отриманих знань у вигляді зростаючого радіусу окружності, починаючи від школяра до вченого зі ступенем;  $H$  - глибина знань по мірі підвищення рівня освіти у часі.

В той же час не можна досягнути неосяжне і в повному об'ємі зберегти знання, отримані в школі, університеті, аспірантурі, докторантурі, оскільки відбувається спеціалізація знань, що на певному рівні можна уявити у вигляді площі сектору:

$$F = \pi R^2 a, \quad (5.2)$$

де  $a$  – світогляд, представлений кругозором в інтервалі  $0 < a < 2\pi$ .

Тоді об'єм збережених знань визначається не повним об'ємом конусу, а тільки його частиною:

$$V = \frac{HF}{3}. \quad (5.3)$$

Якщо у вираз (5.3) підставити (5.2), то отримаємо

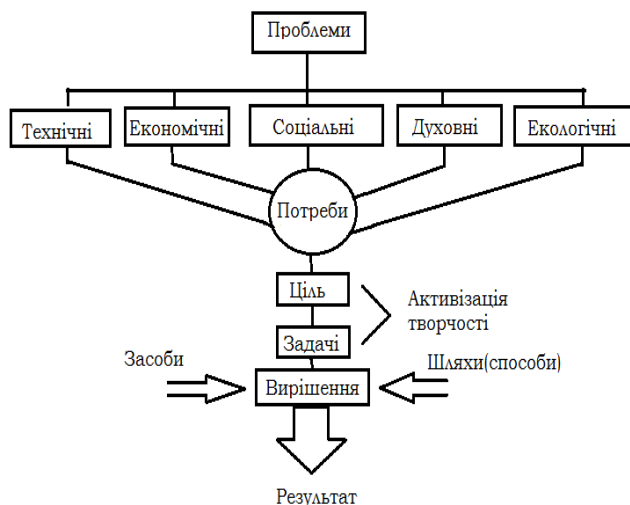
$$V = \frac{H\pi R^2 a}{3} \approx HR^2 a. \quad (5.4)$$

З виразу (5.4) витікає, що з підняттям рівня освіти (збільшенням об'єму фундаментальних  $N_i$  спеціальних  $R^2$  дисциплін) світогляд  $a$  знижується, що потребує іншого методологічного підходу до форм освіти і розширеного світогляду особистості. Розширення світогляду від існуючого  $a_1$  до бажаного  $a_2$  можливо за рахунок креативної форми навчання  $a_{кр}$  з використанням методології творчості (сучасні прийоми і методи пошуку нових знань), постійного всебічного самовдосконалення  $a_{сам}$  (відстеження новин в науці, техніці і технологіях), перекваліфікація і її підвищення  $a_{кв}$ , тобто

$$a_2 = a_1 + a_{кр} + a_{сам} + a_{кв}. \quad (5.5)$$

Науковий аналіз творчого процесу, нових досягнень в методології творчості і потреба оновлення розвиваючого світу свідчить про те, що систему творчих (креативних) знань в цей час поповнюють технології активізації творчої діяльності і розвитку при цьому творчої особистості. З'явилась нова перспектива інтеграційна галузь знань – *креатологія* (від лат. Creation – створення, творчість), а в розвитку якої помітних успіхів досягла Дніпропетровська школа В.С. Пирогова.

Вся виробнича, наукова і творча діяльність людей націлена на задоволення потреб в суспільстві (рис. 5.6) при рішенні різних проблем за рахунок активізації творчості і винаходу нових технік і технологій [35]. При чому винаходиться потрібно не те, що хочеться а те, що потрібно суспільству сьогодні.



**Рис. 5.6. Проблеми і потреби суспільства в активізації творчої діяльності**

В історії пізнання творчості людини можна виділити декілька важливих уроків, які слугують витокми в формуванні і розвитку креатології в трьох напрямках: світоглядному, теоретичному, технологічному (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Направлення і уроки розвитку знань і творчості**

| № з/п | Направлення і розвиток знань творчості | Уроки історії розвитку знань творчості   |
|-------|--|--|
| 1     | Світоглядне, з VI ст. до н.е.          | Хоча творчість включено в пізнання, досліджувати його бажано самостійно, спеціально. Знання творчості (тобто про творчість і для творчості) – це не просто інформація, а інтелектуально збагачений її концентрат, який є інструментом сильної позитивної взаємодії на творчій пошук і на розвиток особистості. |
| 2     | Теоретичне, з XVI ст.                  | Дослідження творчості як багатфакторного прояву мають проводитися інтегративно, на зіставленні цілого ряду вивчаючих наук.   |
| 3     | Технологічне, з 30-х років XX ст.      | Творчий пошук стає (за допомогою сучасних методів і технологій творчості) більш керованим, а тому і більш ефективним. Необхідними є формування, засвоєння і застосування системи знань і творчості як складової ядра сучасної креатології.   |

Для вирішення вище зазначених проблем і задоволення потреб суспільства виникає нова мета активізації творчості: активізації творчого пошуку (за рахунок освоєння і застосування нових знань і методів творчості); розвиток творчої особистості; еволюція творчого колективу.

Суспільство вже перейшло від світоглядного через теоретичне пізнання до технологічного направлення, де характер потреб і творчості і його результати змінюються: на зміну економіці речей приходить економіка знань (інноваційна економіка).

Важливою вимогою до процесу творчості є *розробка* (більше творчих проривних розробок); *прискорення* (скорочення часу створення і освоєння); *здешевлення* (зниження сукупних витрат на проектування, виготовлення, обслуговування). Стримуючим фактором є репродуктивна форма передачі і використання знань, при якій накопичення знань відбувається при звуженні світогляду.

На жаль, багато вчених і спеціалістів, закликаних створювати нову техніку, не можуть відмовитися від репродуктивного мислення, помилково вважаючи, що тільки класичні фундаментальні і спеціальні знання здатні розвивати творче мислення, але, як показує практика, цього не відбувається. Вони не розуміють принципової різниці між чітко визначеними класичними інженерними задачами і творчими, які порівняно складніші: як правило, відсутня постановка задачі; не вказаний метод вирішення; відсутні приклади для запозичення, результат не відомий навіть компетентному спеціалісту з великим досвідом. (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

**Порівняння чітко визначених (класичних) і творчих задач**

| № з/п | Показник порівняння                              | Інженерна задача     |  |
|-------|--|----------------------|--|
|       |  | класична             | творча                                     |
| 1     | 2  | 3                    | 4  |
| 1     | Постановка задачі з точними вихідними даними     | Є                    | Звичайно                                   |
| 2     | Метод (спосіб) вирішення задачі                  | Звичайно вказаний    | Не вказаний                                |
| 3     | Технічні протиріччя в задачі                     | Звичайно відсутні    | Є  |
| 4     | Які методи вирішення задачі можна запропонувати? | Відомі формалізовані | Відомі формалізовані і невідомі евристичні |

Закінчення табл. 5.2

| 1  | 2   | 3  | 4   |
|----|---|--|---|
| 5  | Кількість можливих варіантів вирішення задачі               | Обмежено (мінімум 1)                             | Не обмежено   |
| 6  | Вирішення задачі піддається автоматизації за допомогою ЕОМ? | Так  | Зазвичай ні   |
| 7  | Тип задачі  | Аналіз, параметричний і схемний синтез або вимір | Синтез принципів дії, структурний синтез або «чорна скриня» |
| 8  | Навчальний приклад  | Є  | Відсутній   |
| 9  | Результат вирішення задачі                                  | Відомий викладачу зазвичай                       | Неоднозначний (багато варіантний) і невідомий               |
| 10 | Можливість появи нових винаходів (і навіть відкриттів)      | Ні   | Є   |
| 11 | Можливість появи знань і досвіду у вигляді ноу-хау          | Ні   | Є   |
| 12 | Залежність задачі від спеціальності                         | Зазвичай є                                       | Зазвичай немає  |

**Контрольні питання:**

- 1) Дайте визначення системного аналізу?
- 2) В чому полягає різниця у вирішенні проблем традиційним і системним методом?
- 3) Назвіть принципи системного аналізу?
- 4) Перерахуйте основні елементи системного аналізу?
- 5) Яка мета системного аналізу та його основні завдання?

- 6) *Надайте характеристику підходів до трактування суті системного аналізу?*
- 7) *Перерахуйте принципи та підходи системного аналізу при вирішенні інженерних задач?*
- 8) *Поясніть принцип місії при рішенні інженерних задач методом системного аналізу?*
- 9) *Поясніть звуження світогляду за рахунок поглиблення фундаментальних знань?*
- 10) *Зробіть порівняння чітко визначених (класичних) і творчих задач?*

## Список літератури

1. Аршинова О.І. Системний аналіз: навч. посіб. / О.І. Аршинова, А.В. Шевченко. – К.: НАУ, 2008. – 128 с.
2. Бурачек В.Г. Основи системного аналізу. Конспект лекцій / Бурачек В.Г. Зацерковний В.І. - Чернівці: ЧДІЕУ, 2010.-152 с.
3. Бурячок В.А., Толюпа С.В., Аносов А.О., Козачок В.А., Лукова-Чуйко Н.В. Системний аналіз та прийняття рішень в інформаційній безпеці: підручник / В.А. Бурячок, С.В. Толюпа, А.О. Аносов, В.А. Козачок, Н.В. Лукова-Чуйко. – К.: ДУТ, 2015. – 345 с.
4. Варенко В.М. Системний аналіз інформаційних процесів: Навч. посіб. / В.М. Варенко, І.В. Братусь, В.С. Дорошенко, Ю.Б. Смольников, В.О. Юрченко. – К.: Університет «Україна», 2013. – 203 с.
5. Водолазська О.Г. Конспект лекцій з дисципліни «Основи теорії систем і системного аналізу» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності «Менеджмент») / Укл.: О.Г. Водолазська, Н.В. Водолазська. – Краматорськ: ДДМА, 2003. - 75 с.
6. Грецька Г.М. Теорія систем і системний аналіз: конспект лекцій / Грецька Г.М. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 148 с.
7. Грицюк П.М. Основи теорії системного управління / Грицюк П.М., Джоші О.І., Гладка О.М. - Рівне: НУВГП, 2021. – 272 с.
8. Дудник І.М. Основи теорії систем і системний аналіз : курс лекцій / І.М. Дудник. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 108 с.
9. Дорош А.К. Системотехніка компютеризованих видавничих систем/Дорош А.К., Хомяков В.І. – К.: Видавництво «Політехніка», 2002. – 148 с.
10. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.А. Теорія технічних систем / під загальною редакцією проф. Ю.М. Кузнецова. – К.: Тернопіль, 1997. - 310 с.

11. Інформаційне забезпечення мобільних систем телекомунікацій]: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки "Інформаційні мережі зв'язку" / Уклад.: Глоба Л.С. – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 31 с.

12. Катренко А.В. Системний аналіз. Підручник для вищих навчальних закладів / Катренко А.В. Пасічник В.В. - Львів, 2019. -396 с.

13. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації. Навчальний посібник. / А.В. Катренко. - Львів, 2003. – 420 с.

14. Коваленко О.С. Проектування інформаційних систем: Загальні питання теорії проектування ІС: навч. посіб. для студ. спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / уклад.: О.С. Коваленко, Л.М. Добровська.- К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 192 с.

15. Кононюк А.Е. Системология. Общая теория систем. В 4-х кн. Кн 1./ Кононюк А.Е. - К.: Освіта України, 2014. - 564 с

16. Корнієнко В.І. Теорія систем керування: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, В.П. Щокін. – Дніпро: НГУ, 2017. – 497 с.

17. Косьянов П.О. «Інститут прикладного системного аналізу»/Косьянов П.О., Горбань Н.В. - К.: Навчально технологічний університет України «КПІ», 2012. – 160 с.

18. Масікевич Ю. Г. Теорія систем в екології : підручник / Ю.Г. Масікевич, О.В. Шестопапов, А.А. Негадайло та ін. - Суми : Сумський державний університет, 2015. - 330 с

19. Методы создания технических систем. /Ю.Н.Кузнецов - К.: ООО "ЗМОК" Фирма "ГНОЗИС", 1998. – 80 с.

20. Дивак М.П. Методичний посібник з дисципліни "Системний аналіз" / Дивак М.П. - Тернопіль: Тернопільська академія народного господарства, 2004. – 136 с.



21. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. - Л.: Машиностроение, 1985. - 199 с.
22. Ніконов О.Я. Основи системного аналізу. Навчальний посібник / О.Я. Ніконов, А.І. Кудін, М.В. Костікова, В.О. Шевченко. – Харків: ХНАДУ, 2013. – 164 с.
23. Основні напрямки системних досліджень. Режим доступу: [http://lubbook.org/book\\_294\\_glava\\_5\\_1.3.\\_Osnovn%D1%96naprjamki\\_siste.html](http://lubbook.org/book_294_glava_5_1.3._Osnovn%D1%96naprjamki_siste.html).
24. Прокопенко Т.О. Теорія систем та системний аналіз: навч. посібник/ Т.О. Прокопенко. - Черкаси: Черкас. держ. технол. ун-т, 2019. - 139 с.
25. Роїк О.М. Системний аналіз. Навчальний посібник / О.М. Роїк, А.А. Шиян, Л.О. Нікіфорова. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 83 с.
26. Сахно Є.Ю. Управління інтеграцією інформаційних процесів та зв'язків систем підприємства та проєктів: Монографія/Сахно Є.Ю., Калінько І.В., Скітер І.С., Двоєглазова М.В. - Кондор-Видавництво, 2013. – 214 с.
27. Сахно Є.Ю. Системні аспекти управління інноваційно-інвестиційними проєктами стратегічного розвитку підприємства: Монографія / Сахно Є.Ю., Дорош М.С., Ребенок А.В. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2008. – 260 с.
28. Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Основи системотехніки» для студентів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» всіх форм навчання / Укл. Сахно Є.Ю., Терещук О.І. – Чернігів, ЧНТУ, 2018. – 34 с.
29. Северин О.А. Конспект лекцій із дисципліни «Теорія технічних систем» для студентів спеціальності 7.090217 «Обладнання нафтових і газових промислів» усіх форм навчання/ Северин О.А. Матвієнко Ю.М. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 49 с.
30. Системотехніка-Інформаційні технології в технічній експлуатації. Режим доступу: <http://pidruchniki.com/70919/tehnika/sistemotehnika>.

31. . Соколов С.В. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. - 171 с.

32. Сорока К.О. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. посібник / К.О Сорока. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 291 с.

33. Моніторинг енергоефективності малоповерхових будівель: монографія/ О.І. Терещук, Є.Ю. Сахно, Д.В. Маргасов, М.М. Корзаченко. - Чернігів: ЧНТУ, 2018.-356с.

34. Ушакова І.О. Основи системного аналізу об'єктів і процесів комп'ютеризації. Ч. 2. Навчальний посібник для студентів напряму "Комп'ютерні науки"/ І.О. Ушакова. — Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. - 308 с.

35. Хамуйела Ж.А. Герра. Генетико-морфологический синтез зажимных патронов: монография / Ж.А. Герра Хамуйела, Ю.Н. Кузнецов, Т.О. Хамуйела; под ред. Ю.Н. Кузнецова. - Луцк: Вэжа-Друк, 2017. – 328 с.

36. Чорней Н.Б. Теорія систем і системний аналіз: навч. посібн. для студ. вищ. навч. заклад. / Н.Б. Чорней, Р.К. Чорней. - К.: МАУП, 2005. - 236 с.

37. Швець С.В. Основи системного аналізу : навчальний посібник / С.В. Швець, У.С. Швець. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 126 с.

## ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

**1. Закони функціонування систем розкривають:**

- а) причинно-наслідкові зв'язки і відносини;*
- б) силу взаємодії елементів;*
- в) інформаційні зв'язки між елементами;*
- г) процес обміну енергією.*

**2. Однією з передумов формування загальної теорії систем стало:**

- а) можливість зведення частин в ціле;*
- б) багатоякісність, багатовимірність, різнорідність і різнопорядковість реальної дійсності;*
- в) можливість поділу цілого на частини;*
- г) наявність окремих речей в навколишньому світі.*

**3. Загальна теорія систем складається з:**

- а) системного підходу і системних досліджень;*
- б) системології і системних досліджень;*
- в) системології і методів пізнання;*
- г) принципів і методів вивчення систем.*

**4. Об'єкт як систему характеризують такі ознаки:**

- а) цілісність, виживаність, можливість опису за допомогою математичного апарату;*
- б) автономність, цілісність, можливість формалізованого опису;*
- в) обмеженість, автономність, цілісність;*
- г) сумативність, автономність, інформативність.*

**5. Цілісність об'єкта відображає:**

- а) міцність зв'язків і відносин;*
- б) процес диференціації;*
- в) процес інтеграції;*
- г) адитивний характер зв'язків.*

**6. Вихідним елементом системи називається результат:**

- а) внутрішнього функціонування системи;*

- б) взаємодії внутрішніх структур систем;
- в) впливу зовнішніх факторів на систему;
- г) перетворення в системі.

**7. Для відкритих систем характерно:**

- а) перевищення міцності внутрішніх зв'язків над зовнішніми;
- б) наявність інших зв'язків із зовнішнім середовищем і залежно від неї;
- б) рівноцінність зовнішніх і внутрішніх зв'язків;
- г) відсутність зв'язків із зовнішнім середовищем.

**8. Жорсткі системи характеризує:**

- а) здатність адаптуватися до зовнішнього середовища;
- б) слабка реакція на вплив зовнішнього середовища;
- в) здатність до самовідновлення;
- г) міцність і стійкість зв'язків і відносин.

**9. Самоорганізація характеризує:**

- а) здатність до самовідновлення;
- б) слабка реакція на дії;
- в) здатність адаптуватися до зовнішнього середовища;
- г) міцність внутрішніх зв'язків і відносин.

**10. Розвиток систем означає:**

- а) рух системи в будь-якому напрямку;
- б) рух системи в напрямку прогресивного розвитку;
- в) необоротне, закономірне, спрямована зміна системи;
- г) будь-яка зміна в системі.

**11. Прикладні системні дослідження спрямовані на:**

- а) рішення практичних завдань;
- б) дослідження функціональних зв'язків системи;
- в) отримання теоретичних знань;
- г) дослідження тільки структури системи.

**12. Ентропію характеризує:**

- a) найвища ступінь організованості систем;
- б) рівень дезорганізації систем;
- в) функціональні зв'язки із зовнішнім світом;
- г) міра стійкості і стабільності систем.

**13. Системний підхід до системних досліджень відіграє:**

- a) методологічну роль;
- б) роль засобу пізнання;
- в) роль методу пізнання;
- г) роль процедури пізнання.

**14. Коменсалізм - це форма взаємодії систем, коли:**

- a) одна з них отримує користь, не завдаючи шкоди іншій;
- б) одна з них отримує користь на шкоду іншій;
- в) всі системи отримують користь;
- г) жодна з них не отримує користі.

**15. Позитивний зворотний зв'язок означає, що:**

- a) вхідний і вихідний сигнали рівні;
- б) при збільшенні вхідного сигналу збільшується вихідний;
- в) при збільшенні вхідного сигналу зменшується вихідний;
- г) при зменшенні вхідного сигналу збільшується вихідний сигнал;

**16. Закон субординації показує:**

- a) ієрархічність структурних зв'язків і відносин;
- б) порядок відносин з навколишнім середовищем;
- в) характер і зміст горизонтальних зв'язків і відносин;
- г) міцність структурних зв'язків і відносин.

**17. М'які системи характеризують:**

- a) слабка реакція на дії;
- б) здатність до самовідновлення;

в) здатність адаптуватися до впливів зовнішнього середовища;

г) міцність і стійкість внутрішніх зв'язків і відносин.

### **18. Сенс структуралізму полягає у вивченні:**

а) внутрішньої будови і зв'язків між компонентами системи;

б) функцій структурних компонентів системи;

в) внутрішньої будови систем і її функціонуванні;

г) зв'язків і залежностей між компонентами системи.

### **19. Цикл проектування систем включає:**

а) визначення цілей і завдань, оцінювання результатів, управління системами;

б) визначення цілей, з'ясування і вибір альтернатив;

в) відбір необхідних фактів, аналіз фактів, вибір альтернатив;

г) формування стратегії, оцінювання, реалізацію.

### **20. Сенс структурно-функціонального дослідження об'єктів полягає в:**

а) розчленуванні об'єкта на частини з подальшим вивченням їх функціональної приналежності;

б) вивченні функціональних залежностей між компонентами системи;

в) вивченні функцій об'єкта як цілісного утворення;

г) вивченні функціональних залежностей між даною системою і навколишнім середовищем.

### **21. Людське суспільство як система – це:**

а) сукупність людей, що проживають на одній території;

б) цілісний комплекс зв'язків людей і природи;

в) відособлена від природи частина об'єктивної реальності, яка представляє собою розвиваються форми життєдіяльності людей;

г) цілісний комплекс зв'язків людей і технологій.

**22. При застосуванні принципу багаторівневості на другому рівні описуються:**

- а) якості системи, які виділяють її серед інших;
- б) властивості досліджуваної системи як частини більш складної системи;
- в) *внутрішні джерела розвитку системи;*
- г) внутрішні якості системи.

**23. Опис систем починають з:**

- а) встановлення зв'язків системи з навколишнім середовищем;
- б) *визначення меж системи;*
- в) визначення призначення системи;
- г) класифікації систем.

**24. Процес управління організацією являє собою:**

- а) сукупність окремо взятих і незв'язаних між собою рішень;
- б) усунення виникаючих проблем і невизначеностей;
- в) *безперервний цикл прийняття і реалізації взаємопов'язаних рішень;*
- г) регулювання відносин між учасниками.

**25. Поліморфізм системних утворень виявляє себе через:**

- а) *постійне збереження структури системи;*
- б) зміни структури системи під впливом зовнішнього середовища;
- в) постійне збереження структури системи, незважаючи на сильні зовнішні обурення;
- г) зміна структури системи під впливом внутрішніх процесів.

**26. Принципом багаторівневого застосовується при вивченні:**

- а) внутрішньої будови системи;
- б) системи як елемента, включеного в більш складну систему;

в) системи як цілісності, виключаючи елементи внутрішньої будови;

г) системи і як цілісності, і як елемента, включеного в більш складну систему.

**27. Фундаментом самоорганізації і саморегулювання суспільства як системи є:**

а) свідома людська діяльність;

б) комунікативні зв'язки між людьми;

в) поділ праці в людському суспільстві;

г) структура людського суспільства.

**28. Принцип багаторівневості дозволяє досліджувати:**

а) ієрархії зв'язків структурних компонентів системи;

б) вищий, середній і нижчий рівень управління системою;

в) загальні, особливі і одиничні властивості системи;

г) підсистеми, частини і елементи системи в її структурі.

**29. При застосуванні принципу багаторівневості на першому рівні описуються:**

а) внутрішні якості та властивості системи;

б) якості, які виділяють дану систему серед інших;

в) внутрішні джерела розвитку системи;

г) властивості досліджуваної системи як частини більш складної системи.

**30. Сенс принципу міждисциплінарного підходу до опису систем полягає в:**

а) поглибленому диференційованому пізнанні системного об'єкта;

б) отриманні інтегрованого знання про об'єкт як цілісності;

в) описі об'єкта з позицій різних дисциплін;

г) можливості багатостороннього дослідження об'єкта.



**31. Ізоморфізм в кристалічних речовинах проявляється в:**

- а) встановленні міцних зв'язків з навколишнім середовищем;
- б) рівноважному стані твердих тіл;
- в) порушення рівноваги твердих тіл;
- г) зміні внутрішньої структури кристалічної решітки.

**32. Міллер виділяє наступні види живих систем:**

- а) багатоклітинні системи, організми, біоценози, організації, суспільство;
- б) клітини, багатоклітинні системи, популяції, суспільство;
- в) клітини, органи, організми, групи, організації, суспільство, міжнаціональні системи;
- г) віруси, клітини, багатоклітинні системи, популяції, біоценози.

**33. При застосуванні принципу багаторівневості на першому рівні описуються:**

- а) внутрішні якості та властивості системи;
- б) якості, які виділяють дану систему серед інших;
- в) внутрішні джерела розвитку системи.
- г) властивості досліджуваної системи як частини більш складної системи.

**34. В основі опису об'єктів згідно Канту лежать:**

- а) аксіоматичні докази, побудовані на підставі внутрішніх властивостей і ознак об'єкта;
- б) аналіз структурних компонентів об'єкта;
- в) принципи взаємно згоди, безпосереднього спостереження і експерименту;
- г) аксіоматичні докази в єдності з емпіричними обґрунтуваннями.

**35. Для систем більш високого порядку характерно те, що вони:**

- а) не мають ніякого відношення до властивостей систем нижчого порядку;
- б) не мають нічого спільного з системами нижчого порядку;
- в) *вбирають в себе властивості систем більш низького порядку;*
- г) є зовнішніми по відношенню до систем нижчого порядку.

**36. Модель – це:**

- а) *уявний або умовний образ якого-небудь об'єкта, процесу або явища, який використовується в якості його «заступника»;*
- б) уявний образ будь-якого об'єкта, побудований на основі подібності або подоби;
- в) формула або система рівнянь, що описує подібні явища;
- г) реальний прототип будь-якого пристрою.

**37. Живі системи від неживих відрізняються:**

- а) здатністю до зміни і переміщення в просторі і часі;
- б) підвищеної схильністю ентропійним впливів;
- в) *обміном речовин, здатністю до розмноження, пристосованість до навколишнього середовища;*
- г) структурою, що утворює їх речовини.

**38. Ентропія досягає максимального значення, коли:**

- а) *між вхідними сигналами встановлено повну відповідність;*
- б) вихідні сигнали не пов'язані з вхідними;
- в) відповідність між вхідними та вихідними сигналами відрізняється значно;
- г) відповідність між вхідними та вихідними сигналами відрізняється незначно.

**39. Системне дослідження базується на:**

- а) методології, методичні засади та системотехніці;
- б) принципах, методах, засобах і прийомах;
- в) 1 і 2;
- г) знаннях, способах, законах і закономірності.

**40. До тенденцій розвитку загальної теорії систем не відноситься:**

- а) *теорія гнучких систем;*
- б) теорія м'яких систем;
- в) теорія самоорганізації;
- г) теорія жорстких систем.

**41. Основні принципи системного підходу (вказати зайвий):**

- а) принцип кінцевої мети;
- б) принцип єдності;
- в) принцип розвитку;
- г) *принцип самостійності.*

**42. До внутрішніх системоутворюючих факторів не відноситься:**

- а) *фактор взаємозамінності;*
- б) фактор саморегулювання;
- в) фактор саморуйнування;
- г) фактор компенсації.

**43. До системоруйнівних факторів належать:**

- а) природні і штучні ;
- б) необхідні і випадкові;
- в) головні і другорядні;
- г) *все перераховане вище.*

**44. До законів структури систем не відноситься:**

- а) закон заміності;
- б) *закон спеціалізації;*
- в) закон сумісності;
- г) закон субординації.

**45. На скількох принципах побудовані теорія систем і системний аналіз:**

- а) на 4-х;
- б) на 5-ти;
- в) на 6-ти;
- г) на 8-ми.

**46. З чого починається опис системи:**

- а) з виділення об'єкта серед інших і уявлення його як системи;
- б) з визначення класифікаційних характеристик системи;
- в) з визначення цілей, завдань і призначення (функції) системи;
- г) з встановлення зв'язків системи з іншими системами.

**47. Для оптимального управління системою виділяються такі основні етапи (вказіть правильний порядок):**

- а) *змістовна постановка задачі, побудова моделі досліджуваної системи, відшукування рішення задачі за допомогою моделі, перевірка рішення за допомогою моделі, підстроювання рішення під зовнішні умови, реалізація рішення;*
- б) побудова моделі досліджуваної системи, відшукування рішення задачі за допомогою моделі, перевірка рішення за допомогою моделі, здійснення рішення;
- в) *змістовна постановка задачі, відшукування рішення задачі за допомогою моделі, здійснення рішення;*
- г) побудова моделі досліджуваної системи, відшукування рішення задачі за допомогою моделі, перевірка рішення за допомогою моделі, підстроювання рішення під зовнішні умови, реалізація рішення.

**48. Основні принципи управління:**

- а) *планування, організація, і контроль;*
- б) *організація, планування, координація;*

- в) організація, контроль, координація, мотивація;
- г) планування, організація, координація, мотивація і контроль.

**49. Вкажіть невірний вид подоби при моделюванні систем:**

- а) математична подоба;
- б) повна подоба;
- в) зразкова подоба;
- г) неповна подоба.

**50. Першою фазою проектування систем є:**

- а) оцінка;
- б) формування стратегії або планування;
- в) реалізація;
- г) пошук і розробка варіантів.

**51. Системи:**

- а) об'єктивні за своєю природою;
- б) суб'єктивні за своєю природою;
- в) однозначні за своєю природою.

**52. До системоутворюючих факторів не відноситься:**

- а) *результатообразуючий;*
- б) зв'язку обміну;
- в) індукції;
- г) дедукції.

**53. Системи прийнято поділяти на (вкажіть неправильний варіант):**

- а) фізичні та абстрактні;
- б) динамічні і статичні;
- в) автоматичні і технічні;
- г) природні і штучні;
- д) *з керуванням і без управління;*
- е) безперервні і дискретні.

**54. Сумативні (адитивні) системи - це ті системи, у яких:**

- а) *зв'язку між елементами одного і того ж порядку, що і зв'язку їх елементів із середовищем;*

б) зв'язку між елементами іншого порядку, в порівнянні зі зв'язками елементів із середовищем.

**55. Властивості соціальних систем є (вказати зайве):**

- а) цілеспрямованість ;
- б) адаптивність;
- в) видозмінені;
- г) відкритість;
- д) самовідтворення;
- е) розвиненість.

**56. Залежно від числа елементів, що входять в систему, виділяє наступні класи систем (вказати зайвий):**

- а) малі системи;
- б) складні;
- в) суперскладні;
- г) ультраскладні.

**57. Закони структур систем включають (вказати зайвий) закон субординації:**

- а) закон координації;
- б) закон трансформації;
- в) закон сумісності;
- г) закон спеціалізації;
- д) закон чітко визначеної просторово-часової схильності компонентів системи.

**58. Сприяння між системами приймає форми (вказати зайву):**

- а) коменсалізму;
- б) мутуалізму;
- в) конформізму;
- г) кооперації.

**59. У найзагальнішому вигляді механізм опису систем включає в себе етапи (вказати зайвий):**

- а) виділення об'єкта серед інших і уявлення його як системи;

- б) класифікаційна характеристика системи;
- в) визначення цілей, завдань і призначення (функцій) системи;
- г) встановлення зв'язків системи з іншими системами;
- д) здійснення декомпозиції систем, виділення структурних компонентів;
- е) *трансформація системи;*
- ж) дослідження поведінки системи;
- з) вивчення стану системи і спрямованості її зміни.

**60. Основними етапами розвитку систем є (вказати зайвий):**

- а) виникнення;
- б) становлення;
- в) розквіту;
- г) трансформації;
- д) *стагнації;*
- е) *розпаду.*

**61. До якісних методів опису систем не відносяться:**

- а) методи типу мозковий атаки;
- б) морфологічні методи;
- в) методи типу сценаріїв;
- г) методи експертних оцінок;
- д) *синтаксичні методи;*
- е) методи типу «Дельфі»;
- ж) методи типу дерева цілей.

**62. При прийнятті управлінського рішення не існує наступний тип рішень:**

- а) *бінарний;*
- б) багатозначний;
- в) багатоваріантний;
- г) інноваційний.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Є. Ю. САХНО, О. І. ТЕРЕЩУК,  
В. М. ЧУПРИНА, С. В. КОВАЛЕНКО**

# **ОСНОВИ СИСТЕМОТЕХНІКИ**

навчальний посібник для здобувачів вищої освіти  
технічних спеціальностей вищих навчальних закладів

Підписано до друку 04.07.2022. Формат 60×84/16.  
Ум. друк. арк. 16,28. Тираж 100 пр. Замовлення № 07/22.

---

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.