

# 1. СИСТЕМА ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

## 1.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

Організовані економіко-соціальні суспільства людей (у вигляді держав, колективів підприємств тощо) можна розглядати як окремі складні системи, які складаються з підпорядкованих підсистем.

Особливу роль серед подібних систем відіграє *держава, яка є надсистемою* по відношенню до галузей, підприємств, установ та інших колективів людей. Спрямованість політики держави знаходить суттєвий відбиток у діяльності підпорядкованих їй підсистем. Економіка США, Японії та інших держав досягла вражаючих успіхів саме за рахунок використання *системного аналізу для держави*, який вимагає встановлення конкретних цілей та відповідних стимулів для їх досягнення для усіх учасників виробничого процесу.

Люди, усі без винятку, намагаються своєю працею підвищити власний добробут, який залежить від результатів роботи системи. Тому *метою* економіко-соціального суспільства людей як системи є його забезпечення предметами споживання та підвищення добробуту.

*На даний час наука управління стає все менш гуманітарною (менш мистецтвом) й все більш технократичною (більш ремеслом або наукою)*. Зараз, у принципі, не існують управлінські задачі, для яких не розроблені чи не можуть бути розроблені кількісно обгрунтовані рішення чи математичні моделі. *Тільки фактор часу* може виправдовувати застосування заходів управління великомасштабним виробництвом послуг, які базуються на принципі «Підлога – Стеля – Палець», або «Досвід – Палець».

Нові методи управління застосовують: кібернетичні підходи до управління соціально-технічними системами; математичні методи теорії автоматизованого регулювання та методи систем підтримки прийняття управляючих рішень (СППУР). Для цього застосовуються такі дисципліни, як «Дослідження операцій», «Теорія прийняття рішень», «Теорія нечітких систем», «Теорія корисності», «Математична економіка», «Математичне моделювання соціально-економічних процесів», «Кібернетика», «Теорія автоматизованого регулювання», «Економетрика» тощо. Розглядаються математичні моделі: *макроекономіки* (опис економіки держави в цілому з урахуванням укрупнених показників); *мікроекономіки* (опис взаємодії

структурних і функціональних складових, опис окремого елемента в ринковому середовищі); **прогнозування та регулювання** економіки (держави, галузі, підприємства); **рівноважні** моделі (звичайно на макрорівні); **прикладні** моделі (**оптимізація** конкретного економічного процесу з метою прийняття практичного рішення – звичайно на мікрорівні); **статичні та динамічні** моделі.

Якщо раніше людина ставила вимоги до системи підтримки прийняття управляючих рішень (СППУР), то тепер СППУР як кібернетична система (система штучного інтелекту), у свою чергу, **ставить вимоги до характеру мислення людини**.

Це означає, що людина вже створила систему штучного інтелекту як повноправний об'єкт, і **це повинно знаходити відбиток у навчанні**.

**Системи штучного інтелекту вимагають від людини:** високої культури роботи з поняттями; міждисциплінарного мислення; розуміння ролі абстракцій; здатність створювати, утримувати та змінювати великі понятійні системи; бути спроможним синтезувати абстракції, забезпечуючи в умовах гострих протиріч коректну інтерпретацію понятійних схем; користуватись ЕОМ; знати різні алгоритмічні мови і програмувати; складати математичні моделі виробничих процесів; знаходити оптимум серед сукупності альтернативних рішень (у «лабіринті» рішень); розвивати інтелект, уявлення, креативність мислення та візуалізацію; працювати з абстракціями; засвоювати методи швидкого відновлення сил та розслаблення від психічного стресу тощо. І не кожна людина відповідає вказаним **вимогам, які висуває штучний інтелект**.

Володіння лише апаратом ДО не розв'язує у повному обсязі проблем управління системою, і його доповнюють іншими методами систем підтримки прийняття управляючих рішень (СППУР), наприклад, методами концептуального мислення, згідно з якими рішення **завжди має альтернативи**, а кожна альтернатива розглядається як інструмент, який можна змінювати для отримання оптимального рішення.

Дисципліна «Дослідження операцій» (ДО) застосовує множину математичних методів для розв'язання практичних задач управління системи. Але в методах ДО не розглядаються питання про синергетичний ефект управління від складання «припустимих» похибок кожного з обраних методів; не має належного відображення організація роботи та вплив стимулів на її виконання; не відображаються соціально-економічні умови виробництва; не розглядаються процеси в надсистемі тощо. Наприклад, неможливо ефективно керувати підприємством без урахування процесів, які відбуваються в надсистемах – у державі та у фінансовій сфері.

Яскравим підтвердженням **математизації керування** є створення в ряді держав так званих «електронних урядів» (про це заявлено в тому

числі й в Україні). Подібний підхід забороняє захист ідей без їх наукового кількісного *технократичного* обґрунтування.

*Причиною недостатнього благополуччя* окремих держав та підпорядкованих їй колективів людей є *недостатній рівень культури в матеріальному та духовному сенсі* [1].

*Матеріальною основою культури держави* є рівень розвитку техніки, технологій, промисловості, сільського господарства; знання, вміння та здоров'я робітників. За американським економістом Г.С. Беккером, «запаси» освіти, професійно-інтелектуальний потенціал суспільства, здоров'я населення складають приблизно 75 % багатства економіки США [2].

*Духовною основою культури держави є ідеологія* – система релігійних, політичних, економічних, правових, соціальних, моральних, філософських поглядів, відношень, ідей та теорій, у яких відображається ставлення до людей, до соціальної дійсності та природи. *Державна ідеологія* втілюється в життя керівними органами через закони, примусові органи, релігію, систему навчання, органи інформації, моральні норми тощо.

У пострадянському просторі склалась *ідеологофобія* внаслідок надзвичайно жорстокої репресивної спрямованості ідеології держави проти основних свобод: людина повинна була висловлюватись, діяти й думати лише дозволеним чином – «по-державному», робітники не могли вільно переміщуватись (у них забирали паспорти), репресивний апарат створював «трудова армія» з рабів тощо [1].

Між тим саме *ідеологія визначає основні цілі розвитку суспільства й людини* і тому має першочергове значення для суспільства. *Неправильна ідеологія* є особливо небезпечною для держави (приклад – крах фашистських режимів Німеччини, Італії). *Відсутність ідеології* означає відсутність цілей та стихійний пошук шляхів розвитку, що пов'язано зі значними втратами ресурсів та часу.

Заважають розробці та удосконаленню науково обґрунтованої ідеології [1; 71]:

- негативні дії керівників та «осіб впливу»;
- створення кланів «еліти» з нав'язуванням суспільству своїх цілей;
- *«егоїзм ієрархічних рівнів»*, визначений Черчменом, згідно з яким реальні системи служать не цілям, для яких вони створені, а *цілям персоналу цих систем*. Приклади «жадібних» тенденцій захоплення «прав домінування» з матеріальним підґрунтям та укріпленням своїх позицій у чиновницьких структурах влади: хабарництво; державні установи – для кланів, а не для держави (це майже узаконено і скромно йменують «лобіюванням»); навчальний заклад – для адміністрації та викладачів, а не для студентів; лікарня – для лікарів, а не для хворих; магазин – для продавців, а не для покупців. І питання полягає лише в

тому, як поводити себе із системою, «егоїзм» якої виходить «за рамки розумного»;

– **обмеженість суспільних умов** підтримки фахових здібностей, ефективності праці, таланту людей та «покарання» за їх відсутність. Ця обмеженість суттєво залежить від розподілу багатства в суспільстві, державної політики, системи соціального захисту, доступності освіти, підтримки багатодітних сімей, боротьби з безробіттям та зубожінням населення;

– **недооцінка наукового забезпечення**. Висуваються та захищаються ідеї з посиланням не на розрахунки, а лише на вітчизняний та закордонний «досвід» та цитати. Управління повинне будуватись на методології системного аналізу, вивчення ситуацій, урахування зворотних зв'язків, поступового переходу від **описових уявлень до розрахункових математичних моделей** розвитку соціально-економічних систем. Потрібно не лише «знаходити і лікувати слабкі місця» – треба знаходити та знищувати причини їх появи;

– **негативні наслідки традицій** (на Русі споконвіку чим вищий ранг адміністратора, тим вище його бажання стати над законом; «телефонне право»).

Розробка та корекція науково обгрунтованої ідеології є **центральною й дуже складною проблемою**, яку треба розв'язати суспільству та державі.

Велику шкоду розвитку культури наносить:

1. **Недооцінка моральних якостей робітника в порівнянні з його кваліфікацією**. На даний час в Україні моральне виховання та його оцінка відстають від системних потреб суспільства. **Моральні принципи суспільства (виховання людей) стають важливими чинниками виробничого процесу**. Не береться до уваги твердження Платона «**Корисно лише те, що є справедливим**». **Хоча справедливість – це моральна, а не економічна категорія, але економіка без неї не може ефективно працювати**. Потрібні «справедливі правила гри». Експерти Світового банку назвали «**пасткою нерівності**» **бідність, безробіття та недоступність освіти**. Вони вважають, що «справедливість та розквіт економіки йдуть поряд». В економіці також давно діє такий моральний принцип, як «довіра» до партнерів. Брак «довіри» може викликати фінансову кризу (наприклад, брак довіри до долара США).

2. **Низький рівень матеріальної бази виробництва** – основи культурного розвитку.

3. **Відносно зубожіння населення**. Активна протидія змінам існуючого стану в середовищі промисловців відбувається за твердженнями: «безробіття – благо, яке прискорює структурну перебудову»; «низькі зарплати – конкурентна перевага»; «у бідності винні самі бідняки» тощо.

Не береться до уваги той факт, що зuboжиле населення буде витратити кошти в основному на їжу і не буде купувати промислові товари, тобто не буде підтримувати власне виробництво.

У статистиці використовується коефіцієнт диференціації, який дорівнює відношенню доходів 10 % найбільш багатого населення до 10 % найбіднішого. У Європі цей коефіцієнт складає 3-5 разів, у Росії – 17 разів [71]. Чим більша в суспільстві нерівність, тим воно слабше економічно.

4. *Значна відірваність грошей* (як стимулу для інтенсифікації праці) від реальних матеріальних цінностей, людської праці й таланту. Фінансові сурогати (гроші, зроблені «з повітря») почали важити більше, ніж людська праця: за деякими даними, 85 % грошей світової економіки не мають матеріального забезпечення. Тут маються на увазі спекулятивні операції з грошима (гроші «породжують» гроші); банки, отримавши від держави суттєву підтримку, замість стимулювання вітчизняного виробництва, займаються скупкою валюти, вивезенням валюти за кордон, підтримуючи чужі економіки [71]; необгрунтоване підвищення вартості цінних паперів.

Хоча держава не може займатися «роздачею коштів», але вона може суттєво впливати на економічні процеси.

## 1.2. ВПЛИВ ДЕРЖАВИ НА ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ

На даний час немає держави, яка б не впливала на виробництво товарів та послуг у народному господарстві.

Приклади впливу держави на виробничі процеси в системному сенсі:

- визначення основних цілей економічного розвитку держави і спрямування економічних та наукових важелів на їх виконання;
- уведення рівноваги в процес виробництва товарів народного господарства;
  - підтримка внутрішнього платіжного попиту;
  - захист вітчизняного виробника;
  - усунення проміжних спекулятивних ланок між виробником та користувачем (наприклад, сільськогосподарської продукції);
- вилучення «інвестиційної» діяльності у вигляді модернізації застарілого обладнання (це «латання дірок» веде до консервації технологічної відсталості) і спрямування інвестицій на технічне переозброєння підприємств;
  - контроль вивезення капіталу за кордон (бо ці кошти йдуть на розвиток чужої економіки, а введення їх, наприклад, у сільське господарство може поліпшити соціально-економічний стан села й усієї держави);
- заборона створення боргів банків з державною участю;

- проведення політики впровадження дійсно ринкового механізму, основою якого є зацікавленість усіх робітників у якісній праці;
- підтримка високих вимог до фахових та моральних якостей членів суспільства;
- створення справедливих стимулів для праці (встановлення пропорцій між прибутком власника та сукупною зарплатою робітників, бо найбільш істотний стимул для праці – економічний; реальний соціальний захист робітників від зменшення чи невідачі зарплати, необґрунтованого звільнення тощо);
- керування системою соціального захисту щодо отримання освіти, пенсійного забезпечення, медичного обслуговування;
- сприяння вивезенню за кордон готової високотехнологічної продукції, бо вивезення сировини закріплює економічне відставання;
- переорієнтація розподілу багатства, яке створюється працею всього суспільства за рахунок податкової, митної, інвестиційної політики та правил взаємодії суб'єктів економіки (у вигляді законів, указів, постанов тощо);
- створення умов для руху робочої сили;
- уведення податкових пільг для малого та середнього бізнесу, який є своєрідною «лабораторією» перевірки нових ідей у виробництві;
- перерозподіл податків із збільшенням їх на спекулятивні операції та велику власність;
- підтримка науки, винахідництва, наукових досліджень;
- підтримка випуску наукоємної високотехнологічної продукції; контроль над ефективністю проектного і діючого виробництва та його відповідністю світовому рівню (за кордоном ці вимоги стандартизовані державою) тощо.

### **1.3. ДЕЯКІ ВИЗНАЧЕННЯ СТОСОВНО СИСТЕМИ ТА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

***Ціль системи*** – це пов'язана з її функціонуванням обрана сукупність найліпших на даний час кількісних і якісних показників системи та її підсистем.

***Система*** є ієрархічною сукупністю структурно і функціонально взаємопов'язаних внутрішніх компонент та зовнішніх компонент надсистеми, у якій внутрішні компоненти можуть змінювати свою кількість, функції, організацію, структуру, зв'язки, розподіл інформації та ресурсів для оптимізації внутрішніх і зовнішніх взаємодій у досягненні **глобальної мети**, спроектованої на цілі внутрішніх компонент та на самозбереження (у тому числі в умовах катастроф).

**Об'єкти системи** можуть бути матеріальними (підприємства) чи абстрактними (створеними людською думкою – поняття, гіпотези, теорії тощо).

Ми будемо розглядати моделі задач ДО, які застосуються в цивільних АСУП. АСУП належать до *кібернетичних систем*, що є більш вузьким поняттям у порівнянні з «системами»: *кібернетична система* цілком визначена та формалізована, і в ній процеси розглядаються з кількісного боку з використанням лише логічної компоненти при моделюванні інтелекту.

**Кібернетична система** – це ієрархічна керована сукупність структурно і функціонально взаємопов'язаних компонент (підсистем), які за рахунок обміну інформацією та ресурсами визначають точний і вчасний оптимальний алгоритм (порядок, послідовність, місце в просторі, час, організація) взаємодії між собою та навколишнім середовищем і мають загальну сукупність кінцевих, глобальних, з абсолютним пріоритетом цілей, які спроектовані на функції цілей кожної компоненти.

Система характеризується єдністю структури, функцій та ємерджентності.

На даний час визнано існування теорії систем у широкому та вузькому сенсі (використані погляди Л. фон Берталанфі, 1962) [1]:

1. **Загальна теорія систем (метатеорія)**, яка стосується методології дослідження усіх існуючих конкретних систем.

2. **Спеціальні, конкретні, часткові системні теорії** – системологія, кібернетика, синергетика (розвиток систем різної природи), системний підхід, системний аналіз, **дослідження операцій**, системотехніка тощо. Таким чином, оптимізація роботи конкретних систем (підприємств, установ та держав) на основі методів кібернетики, системного підходу, системного аналізу, **дослідження операцій** засновується на методології **спеціальних системних теорій**.

**Системний аналіз** – це логічно пов'язана сукупність теоретичних та емпіричних знань з математики, природничих наук та досвіду розробки й експлуатації складних систем, орієнтованих за певними умовами на підвищення обґрунтованості рішення конкретної проблеми та визначення оптимальних дій, пов'язаних з алгоритмом (простором, часом, послідовністю дій та організацією) роботи системи.

Витоки системного аналізу, його методологічні концепції лежать у тих дисциплінах, **які займаються проблемами прийняття рішень**: теорії операцій та теорії управління.

Системний рівень належить до найвищого рівня ієрархії процесу проектування складних систем. Він мало формалізований і часто замість математичного моделювання використовуються приклади конкретних реалізацій, традиційні рішення, неформальні методи проектування.

Задачам системного аналізу властиві невизначеність, суперечливість, багатокритеріальність, багатофакторність, недостатня формалізованість.

**Системний аналіз** розглядає ряд проблем, які можна поділити на три класи [3]:

1. **Добре структуровані** (*well-structured*), або кількісно сформульовані проблеми. Для їх розв'язання використовуються методологія **дослідження операцій** (*лінійне, нелінійне, динамічне програмування; теорія систем масового обслуговування; теорія ігор тощо*).

2. **Неструктуровані** (*unstructured*), або якісно виражені проблеми, для яких кількісні залежності невідомі. Для їх аналізу можна використати теорію нечітких систем.

3. **Слабо структуровані** (*ill-structured*), які вміщують якісні елементи та маловідомі невизначені сторони, що мають тенденцію домінувати. Для розв'язання слабо структурованих проблем використовуються методологія системного аналізу; систем підтримки прийняття рішень; практичний досвід; особливості та переваги різних методів наукового аналізу.

Усі три класи проблем системного аналізу можуть існувати паралельно в одній складній системі (наприклад, в АСУП).

**Основні етапи системного аналізу** радянської науки [1]: виявлення проблеми; визначення мети; збір інформації; розробка максимальної кількості альтернативних шляхів розв'язання проблеми; фільтрація альтернатив; побудова математичної моделі, програми чи сценарію альтернатив; оцінка витрат реалізації альтернативних рішень; обрання однієї альтернативи в якості рішення; керування впровадженням рішення.

У системному аналізі використовують сукупність таких процедур: цільові, ситуаційні, інформаційні, структурно-функціональні, організаційно-процедурні, техніко-економічні [4]. При цьому техніко-економічні процедури призначені для визначення соціально-економічної і техніко-економічної ефективності функціонування системи і, **як обов'язковий елемент, використовують методи ДО**, бо класичні задачі ДО для АСУП виконують розрахунок прибутку, рентабельності, витрат тощо **в системі (для усього підприємства), або для її підсистем** [5].

**Системна методологія** охоплює сукупність різних методів, алгоритмів, пакетів прикладних програм і повинна відповідати принципам: системної погодженості, процедурної повноти, інформаційної узгодженості, функціональної раціональності (з точок зору досягнення технічних, соціальних, економічних, технологічних, інформаційних, ергономічних, моральних, юридичних потреб) тощо [4].

Звичайно процеси в погано організованих підприємствах не є оптимальними з погляду вимог системного аналізу, бо системний виграш є більшим за виграш сукупності виграшів кожного її окремого



компонента за рахунок миттєвого розподілу інформації стосовно прийняття рішень. Ефективність загальної автоматизації може до 10 разів перевищувати ефект від впровадження автоматизації окремих компонентів автоматизованих систем управління (АСУ), автоматизованих систем управління підприємством (АСУП), інтегрованих автоматизованих систем управління (ІАСУ) та систем автоматизованого проектування (САПР).

**Системний підхід** полягає в оптимізації функціонування всієї системи в цілому і звертає увагу на недостатність і навіть шкідливість рішень, отриманих при аналізі лише частки компонент системи і без урахування взаємодії із зовнішнім середовищем. Будь-яку систему потрібно розглядати не лише як об'єднання власних підсистем, а як підсистему ще більшої зовнішньої надсистеми з урахуванням впливу ієрархічно вищої надсистеми на дану систему. Якщо в результаті системного аналізу досягнуті лише позитивні наслідки, **то вже одне це має викликати настороженість, бо абсолютизувати один напрям і недооцінювати інші напрями означає вузьке, неглобальне, несистемне мислення**. Пріоритетними стають розумні компроміси між різними потребами системи і можливостями їх задоволення [6].

Алгоритми системного аналізу за їх складністю умовно (і досить приблизно) діляться на **два класи**:

– **до класу складності  $P$  (polynomial)** належить множина алгоритмів, час роботи яких порівняно малий і слабо залежить від розміру вхідних даних  $n$ . Ці алгоритми можна «практично» розв'язати

за поліноміальний час, коли оцінка часу роботи  $O_T = \sum_{j=0}^K A_j n^j$  не

перевищує багаточлена від розміру вхідних даних  $n$ , де  $n$  – довжина входу, чи складність входу (наприклад, для факторіалу « $n!$ » це число « $n$ »);  $K$  – деяка константа, яка не залежить від довжини входу « $n$ ».

– **до класу складності  $NP$  (non-deterministic polynomial)** належить клас  $P$  та алгоритми, час розв'язання яких експоненційно залежить від розміру входу, і тому вони є неефективними для великих входів « $n$ ».

У  $NP$ -задачі виділили **підклас, який назвали « $NP$ -повними задачами»**. Тут слово «повний» означає «який є найбільш яскравим представником, і тому вказує на найбільш тяжкі до розв'язання задачі  $NP$ ». До  **$NP$ -повних задач** входять: задача комівояжера, задача наплічника, виконання булевих формул тощо (є підстави вважати, що вони «практично» **не розв'язуються за поліноміальний час**). Згідно з розповсюдженою гіпотезою не існує ефективних алгоритмів для розв'язання  $NP$ -повних задач. **Для  $NP$ -повних задач не знайдені поліноміальні  $P$ -рішення, але разом з тим не доведено, що такі рішення не існують**.

Проблема « $P = NP$ » виникла у 1971 р. і до цього часу є складною проблемою обчислень.

Для більшості дискретних та комбінаторних  $NP$ -повних задач математичного програмування можна отримати розв'язок повним перебором можливих варіантів, який є точним, але й частковим, бо практично не придатний для розв'язання за поліноміальний час задач великої складності. Багато  $NP$ -повних задач досі взагалі не має розв'язку (наприклад, немає доведення, що застосований алгоритм дасть розв'язок за термін не більше заданого). Якщо будь-яка задача має  $NP$ -повний алгоритм розв'язку, то цей алгоритм намагаються замінити на  $P$ -алгоритм для окремих випадків, або на евристичний алгоритм, наближений до оптимального (але самі ці задачі залишаються  $NP$ -повними).

Л. Хачіян довів, що задачі лінійного програмування (ЛП) входять до  $P$ -класу. Особливе місце займає задача про потік у мережі: хоча вона належить до підкласу задач ЛП та одночасно до задач дискретної оптимізації, але для неї доведений факт існування ефективного розв'язку.