



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

С. В. Соколов

ТЕОРІЯ СИСТЕМ І СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

Конспект лекцій

Суми
Сумський державний університет
2020

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

ТЕОРІЯ СИСТЕМ І СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

Конспект лекцій
для студентів спеціальності
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
освітнього ступеня «бакалавр»
усіх форм навчання

Затверджено
на засіданні кафедри
комп'ютерних наук
(секція КСУ)
як конспект лекцій
із дисципліни «Теорія систем
і системний аналіз»
Протокол № 11 від 21.05.2019.



Суми
Сумський державний університет
2020

Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.

Секція КСУ кафедри комп'ютерних наук

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних скорочень.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРІЯ СИСТЕМ.....	10
ТЕМА 1. ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ	
ТЕОРІЇ СИСТЕМ.....	10
1.1. Виникнення та розвиток науки про системи.....	10
1.2. Характеристика основних аспектів системності.....	16
1.3. Основні етапи розвитку системних ідей.	
Джерела системних ідей.....	22
ТЕМА 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМ.....	24
2.1. Поняття: «система», «елемент», «зв'язок», «компоненти і підсистема», «мета», «структура», «функція», «властивості».....	24
2.2. Поняття, що характеризують функціонування та розвиток систем: стан, поведінка, рівновага, стійкість, розвиток, процеси.	29
ТЕМА 3. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ.....	35
ТЕМА 4. СТРУКТУРА СИСТЕМ. ВИДИ ТА ФОРМИ	
СТРУКТУР.....	42
4.1. Структура систем.....	42
4.2. Види і форми наведення структур.....	42
ТЕМА 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА ПРИНЦИПИ СИСТЕМ..	53
5.1. Закономірності взаємодії частини та цілого.....	53
5.2. Закономірності ієрархічного впорядкування систем.	54
5.3. Закономірності функціонування та розвитку систем.	56
5.4. Закономірність здійснення систем.....	57
5.5. Закономірності виникнення і формулювання цілей..	58
5.6. Закономірності формування структур цілей.....	60

РОЗДІЛ 2 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ	62
ТЕМА 6. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	62
6.1. Сутність системного аналізу.....	62
6.2. Основні задачі та визначення системного аналізу... ..	65
6.3. Основні принципи, етапи та послідовність системного аналізу.....	68
6.4. Завдання та процедури системного аналізу.....	71
6.5. Формулювання проблеми та визначення мети системного аналізу.....	79
6.6. Генерування альтернатив.....	83
6.7. Впровадження результатів аналізу.....	85
ТЕМА 7. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ	87
7.1. Поняття моделі та моделювання. Історія становлення поняття моделі.....	87
7.2. Призначення моделей.....	90
7.3. Рівні моделювання.....	92
7.4. Види моделей.....	94
7.5. Динамічні моделі.....	100
ТЕМА 8. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ. МЕТОДИ ФОРМАЛІЗОВАНОГО ПОДАННЯ СИСТЕМ (МФПС)	105
8.1. Методи моделювання систем.....	105
8.2. Аналітичні та статистичні методи.....	109
8.3. Теоретико-множинні методи.....	113
8.4. Методи математичної логіки.....	115
8.5. Лінгвістичні та семіотичні методи.....	116
8.6. Графічні методи.....	117
ТЕМА 9. МЕТОДИ, СПРЯМОВАНІ НА АКТИВІЗАЦІЮ ІНТУЇЦІЇ ТА ДОСВІДУ СПЕЦІАЛІСТІВ	119
9.1. Методи типу «мозкової атаки» або колективної	

генерації ідей	119
9.2. Методи типу «сценаріїв»	120
9.3. Методи структуризації	121
9.4. Методи експертних оцінювань	121
9.5. Методи типу «Дельфі»	124
9.6. Методи організації складних експертиз	125
9.7. Морфологічні методи	128
ТЕМА 10. РОЛЬ ВИМІРЮВАНЬ У СТВОРЕННІ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ	132
10.1. Експеримент і модель	132
10.2. Поняття шкали	133
10.3. Вимірювальні шкали номінального типу	133
10.4. Шкала порядку	136
10.5. Модифіковані порядкові шкали	137
10.6. Шкала інтервалів	139
10.7. Шкала відношень	141
10.8. Шкала різниць	142
10.9. Абсолютна шкала	143
ТЕМА 11. РОЛЬ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В НАУЦІ ТА НА ПРАКТИЦІ	144
11.1. Основні напрямки та функції системності в науці	144
11.2. Системні закони та їх роль у пізнанні	148
11.3. Основні системні ідеї в практичному житті	151
11.4. Системність і майбутнє	159
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	161
ДОДАТОК А. ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ	162

Перелік умовних скорочень

- АСУ – автоматизована система управління
ЕОМ – електронна обчислювальна машина
ЗТС – загальна теорія систем
МАІФ – методи, спрямовані на активізацію використання інтуїції та досвіду фахівців
МПУ – мережеве планування та управління
МФПС – методи формалізованого подання систем
НДР – науково-дослідна робота
НОП – наукова організація праці
НТР – науково-технічна революція
ОПР – особа, яка приймає рішення

ВСТУП

Система – слово грецьке, яке означає ціле, складене з частин. В іншому значенні – це порядок, визначений правильним розміщенням частин та їх взаємозв'язками. З глибокої давнини люди вивчають світ систем. Елементи системного світогляду виникли вже в античному світі. Впродовж усієї історії розвитку науки, освіти та культури в цілому людство накопичило величезне багатство системних ідей, що розкидані в різних сферах наукового знання. Ці знання потребують переосмислення й інтеграції.

У сучасному житті термін «система» є найбільш уживаним. Це обумовлено тим, що за системою стоїть розвинена методологічна традиція, яка характеризує сформований упродовж усієї інтелектуальної історії людства, і особливо в останні десятиліття, дуже ефективний стиль мислення. Системне мислення – це мислення сучасної людини. Системний стиль мислення або системний підхід являє собою специфічний зміст, аспект, принцип мислення, за якого категорію «система» застосовують за метод, інструмент пізнання.

Термін «системний підхід» змістовно відображає групу методів, за допомогою яких реальний об'єкт описують як сукупність взаємодіючих компонентів. Ці методи розвиваються в межах окремих наукових дисциплін і загальнонаукових концепцій, є результатом їх міждисциплінарного синтезу. Використання системного підходу в науці стимулює також успіх окремих системних теорій в інших сферах знань, розвиток кібернетики і суспільних наук.

Системний підхід – ефективний спосіб розумової діяльності, що забезпечив значні відкриття в науці, винаходи в техніці та досягнення у виробництві в другій половині ХХ ст. Це зумовило постійну увагу до нього з боку інтелектуалів. Без володіння цим методом неможливі творча самореалізація, професійна діяльність. Водночас зростаюча потреба в системному мисленні вимагає спеціального вивчення у вищих

навчальних закладах дисципліни «Теорія систем і системний аналіз». Однак сама теорія систем недостатньо систематизована й підготовлена для викладання.

Системний аналіз освіти показав що, в країні спостерігається криза освіти, яка полягає в тому, що всі зусилля спрямовані на знання, вміння і навички, але не на розуміння. Така схема гарна для підготовки промислового працівника, водія, льотчика, але малоефективна в навчанні інженера, менеджера, економіста, соціолога тощо, оскільки в цих професіях важливі не просто знання, а їх системність і розуміння. Швидше за все тут буде ефективною формула – знання, розуміння, вміння. Вона акцентує увагу не на тому, щоб знати, а щоб розуміти і застосовувати. Сучасне ж навчання нагадує ходіння навколо предмета і нескінченний його опис. Від цього розуміння предмета змінюється дуже повільно, а знання залишаються поверхневими. І життєдіяльність студента перетворюється або в тривалий відпочинок, а з ним і в уповільнений інтелектуальний розвиток, або в каторгу запам'ятовування, на яку штовхає зростання професійної інформації. У підручниках дуже мало уваги приділяється методам науки, особливостям її парадигми, домінує орієнтація на описові знання. Звідси в освіті весь час загострюється потреба в освоєнні студентами методів.

Без системного підходу не обходиться у наш час жодна сфера високопрофесійної діяльності. Можна з упевненістю констатувати, що багато помилок в управлінні державою викликані тим, що у державних службовців і службовців місцевого самоврядування не достатньо знань і розуміння ні з теорії систем, ні з системного аналізу. Важливі рішення ухвалюються нерідко за принципом підкинutoї монети, без бачення їх впливу на різні підсистеми складного і взаємозалежного суспільного організму. Найчастіше джерелом стримування розвитку економіки та її найважливіших складових бізнесу та фінансів є сам персонал, оскільки менеджери, керівники фірм, директори підприємств, фінансисти практично не знайомі з принципами управління складними системами, що

саморозвиваються. Завдання, які ставить перед ними життя, не вирішені лише тому, що вони не можуть зрозуміти їх і сформулювати в системних категоріях. Трагічні наслідки природних, екологічних і техногенних катастроф значною мірою обумовлені не просто нерозумінням системності, а нездатністю втілити ідеї в такі дії, які не порушували б системні закони природи і суспільства.

Системний підхід відносять до числа, як це не парадоксально, небагатьох, але на диво плідних інтелектуальних винаходів людства, без застосування якого немислима успішна професійна діяльність практично в будь-якій сфері. Володіння системним аналізом, системним моделюванням і конструюванням, системною практичною діяльністю – вища характеристика розумової культури людини. Важливо, що будь-який фахівець змушений «мати справу» з систематизацією інформації, системними дослідженнями, які можна здійснювати лише володіючи спеціальними знаннями і навичками. Тому будь-який інженер, менеджер, економіст, державний службовець тощо, тобто людина, яка приймає рішення та впливає на інших людей, повинна знати та вміти використовувати знання з теорії систем та системного аналізу.

Виходячи з цих міркувань, був побудований наведений конспект лекцій. Цей конспект лекцій є одним із можливих варіантів [1–7] викладання курсу «Теорія систем і системний аналіз» для фахівців інженерних спеціальностей. Об'єктом осмислення в конспекті лекцій є системи, а предметом – основні ідеї теорії систем і системного аналізу. Конспект складається з двох розділів:

- теорії систем;
- системного аналізу та моделювання систем.

Обсяг матеріалу цього конспекту лекцій є достатнім для одержання базових знань із курсу «Теорія систем і системний аналіз». Конспект лекцій призначений для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», а також може бути використаний для спеціальностей інженерного напрямку.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРІЯ СИСТЕМ

ТЕМА 1. ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

1.1. Виникнення та розвиток науки про системи

Методологія наукового пізнання неможлива без системного підходу, що став особливо популярним у другій половині ХХ ст. Хоча системні уявлення існували здавна, оскільки однією з найважливіших категорій філософії є категорія «ціле», перший варіант загальної теорії систем був запропонований у 1912 р. *Олександром Олександровичем Богдановим* (псевдонім; справжнє прізвище Малиновський; 1873–1928) у вигляді вчення про тектологію. О. О. Богданов – це *філософ* (засновник розкритикованої В. І. Леніним концепції емпіріомонізму, а також творець тектології), *політичний діяч* (обіймав чільне місце в російському соціал-демократичному русі), *письменник* (автор декількох утопічних романів), *лікар* і один з організаторів системи охорони здоров'я в СРСР.

О. О. Богданов відрізнявся оригінальними філософськими поглядами, характеризувався нестандартністю мислення. Поважаючи В. І. Леніна як революціонера (навіть визнаючи себе його учнем у політиці), був непохитним в філософській розбіжності з ним, активно заперечував його методи, засуджував крайнощі в політиці. Він писав, що не можна бути послідовником вчителя, не йдучи далі, ніж він і не розлучаючись із ним. Застиглі догми породжують авторитарні звичаї. Наймертвіші з мерців ті, які прикували себе до чужої могили (в науці, у філософії).

О. О. Богданов був дуже суперечливою натурою. Його завжди заносило в крайнощі – від суб'єктивного ідеалізму до народопоклонства. Але в цілому це був шукач правди з загостреним почуттям нового, демократ-просвітитель, діяльна людина. Його тектологічні роздуми передбачили сучасні теорії самоорганізації та загальних систем. Розчарувавшись у політиці,

відчуваючи постійні звинувачення в еретизмі, він відійшов від неї, самовіддано захопився наукою, заснував перший у світі інститут переливання крові й загинув, проводячи на собі ризикований дослід. Найімовірніше, якби не трагічна смерть, то життя його не була б довгим і щасливим. За життя він не прийняв Жовтневу революцію 1917 р., дистанціювався від правлячої партії, хоча співпрацював із більшовиками. Його різко засуджували компартійні функціонери за неортодоксальність і навіть не уникнув короткочасного арешту. У 30-ті роки ХХ ст. йому б пригадали розбіжності з Леніним, за документальне підтвердження його злочину згадали б критику його Леніним на сторінках «Матеріалізму і емпіріокритицизму». Виходячи з цього, О. О. Богданов був би напевно репресований.

Тектологія Богданова. «Загальну організаційну науку, – зазначав О. О. Богданов, – ми будемо називати «тектологією», що в перекладі з грецького означає «вчення про будівництво». Термін «будівництво» є синонімом для сучасного поняття «організація». Тектологія Богданова – це загальна теорія організації та дезорганізації, наука про універсальні типи й закономірності структурної перебудови будь-яких систем. Безсумнівно, що О. О. Богданову вдалося закласти основи нової синтетичної науки, яка не одержувала визнання тривалий час.

Основна ідея тектології полягає в *тотожності організації систем різних рівнів*: від мікросвіту – до біологічних і соціальних систем. Щодо соціальних процесів О. О. Богданов вважав, що будь-яка людська діяльність об'єктивно є організуючою або дезорганізуючою. Він вважав, що дезорганізація – окремий випадок організації. У всьому світі відбувається боротьба організаційних форм, і в ній перемагають більш організовані форми (неважливо, чи йде мова про економіку, політику, культуру чи ідеологію). Це відбувається через те, що *організаційна система завжди більша за суму її складових елементів*, а дезорганізаційна – завжди менша за суму своїх частин. Тому *головне завдання тектології* полягає в кращій організації речей (техніки), людей (економіки) та ідей.

О. О. Богданов вважав, що будь-яку діяльність людини можна розглядати як певний матеріал організаційного досвіду й досліджувати з організаційної точки зору. Це положення – ключова позиція сучасного менеджменту. Богданов зробив помітний внесок у становлення та розвиток науки управління. Він є представником організаційно-технологічного підходу до управління. Відзначав, що будь-яке завдання можна і потрібно розглядати як організаційне завдання.

О. О. Богданов одним із перших у світі ввів поняття *системності*. Стан системи визначають рівновагою протилежностей. Унаслідок безперервної взаємодії формуються *три види систем*, які він поділяв на організовані, неорганізовані та нейтральні.

Вчений розробив ідею про структурну стійкість системи та її умови. У самій системі одним з перших побачив *два види закономірностей*:

а) формуючі, тобто закономірності розвитку, що приводять до переходу системи в іншу якість;

б) регулюючі, тобто закономірності функціонування, які сприяють стабілізації нинішньої якості системи.

Він увів також ряд цікавих понять, які характеризують етапи розвитку різних систем. Так, термін *«комплексія»* вживався їм для позначення ситуації, коли система являє собою лише механічне об'єднання елементів, між якими ще не почалися процеси взаємодії. Це характерно для випадків, коли, скажімо, підприємець починає створювати організацію (набрал кадри, закупив техніку, найняв приміщення тощо), але вона ще не функціонує.

Термін *«кон'югація»* (за Богдановим) означає вже такий етап розвитку системи, коли починається співпраця між її окремими елементами системи (наприклад, працівники встановили між собою формальні й неформальні відносини).

Термін *«інгресія»* описує етап переходу системи до нової якості (наприклад, зростання згуртованості, взаєморозуміння, спрацьованості колективу), а поняття *«дезінгресія»*, навпаки,

означає процес деградації системи, її розпаду як цілісного об'єднання.

У Берліні О. О. Богданов опублікував свої ідеї. З ними ознайомився австрійський біолог і філософ *Людвіг фон Берталанфі* (1901–1972), який створив другий варіант загальної теорії систем. У 30–40-ві роки ХХ ст. Берталанфі, працюючи у Відні, заклав основи концепції організмичного підходу до організованих динамічних систем, що мають властивість еквіфінальності, тобто здатності досягати мети незалежно від характеру впливів на початкових етапах розвитку. Він узагальнив принципи *цілісності* (набуття нових якостей системи), *організації* (протистояння руйнуванню, адаптації та зміни структури системи) та *ізоморфізму* (загальні закони для всіх систем) в єдину концепцію. Л. Берталанфі спочатку застосував ідею *відкритих систем* до пояснення низки проблем біології та генетики, але потім дійшов висновку, що методологія системного підходу є ширшою і може бути застосована в різних галузях науки. Так виникла ідея *загальної теорії систем*.

Л. Берталанфі досить чітко сформулював *проблему побудови загальної теорії систем*. Для цього необхідно поперше, сформулювати загальні принципи та закони поведінки систем незалежно від їх спеціального виду й природи складових їх елементів; по-друге, закласти основи для синтезу наукового знання внаслідок виявлення ізоморфізму законів, що належать до різних сфер діяльності. Ідеї Берталанфі привернули увагу міжнародної наукової громадськості, а ідеї Богданова виявилися незатребуваним потенціалом науки. Це той, майже біблійний випадок, коли ідеї, як зерна: одні впали на непідготовлений ґрунт, а інші – на багатий.

Л. Берталанфі зробив величезний внесок у становлення і популяризацію системного підходу. У 50-ті та 70-ті роки ХХ ст. він працював у США та Канаді. Вирішальною для системних ідей стала його робота в Чиказькому університеті – світовому центрі методології. В ті часи там складалася школа видатних соціологів. Тому не дивно, що системний підхід відразу ж увійшов у соціологічну науку і як теорія, і як принцип, і як

знання, і як метод дослідження. Л. Берталанфі – засновник цілого наукового напрямку, пов’язаного зі створенням загальної теорії систем. Він першим визначив *завдання побудови* цієї теорії. *Загальна теорія систем* мислилася ним як *фундаментальна наука, що досліджує проблеми систем різної природи*.

Істотний *недолік* у розумінні Л. Берталанфі загальної теорії систем полягав у тому, що він оголосив її такою, що замінює філософію, що викликало справедливі заперечення філософів. Якщо звернути увагу на зміст загальної теорії систем, то до нього входять в основному формалізовані науки, які добре застосовані до відносно простих системам. Потреба дослідження складних систем змушує використовувати якісний аналіз, який мають філософські науки. Але філософії систем у загальній теорії систем місця не знайшлося. Тому сталося роздвоєння загальної теорії систем (ЗТС) на ЗТС у широкому сенсі та на ЗТС у вузькому сенсі (рис. 1.1).

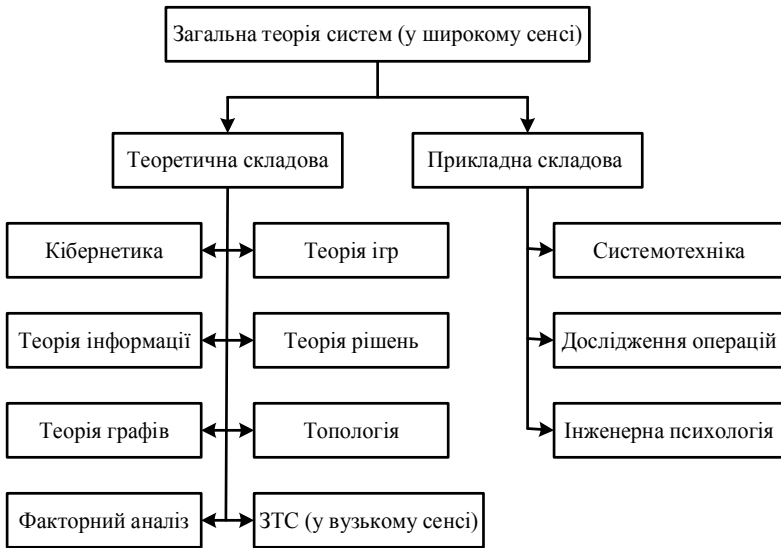


Рисунок 1.1 – Схема загальної теорії систем в наведенні Л. Берталанфі

Сама ЗТС у вузькому сенсі також значною мірою залишилася кількісно-формальною наукою.

Подальший розвиток системних знань призвів до того, що виникло декілька варіантів загальної теорії систем у вузькому сенсі слова, сформувалося знання, яке відображало окремі сторони систем, з'явилися значні напрацювання про системи різної природи: фізичні, хімічні, біологічні, психічні та соціальні.

Особливим і головним популяризатором системних ідей стала науково-технічна революція (НТР), яка забезпечила бурхливий розвиток системного підходу. Ідеї теорії систем розвивали такі вчені, як Рассел Акофф, Оскар Ланге, Роберт Мертон, Михайло Месарович, Талкотт Парсонс, Вільям Росс Ешбі, Віктор Григорович Афанасьєв, Віктор Михайлович Глушков, Валентин Петрович Кузьмін, Юрій Георгійович Марков, Леонід Аврамович Петрушенко, Вадим Миколайович Садовський, Михаїл Іванович Сетров, Віктор Степанович Тюхтін, Авенір Іванович Уйомов, Ерік Григорович Юдін та інші вчені.

Системний підхід широко поширився в економіці, соціології, психології та інших науках. У соціології великий внесок у розвиток системних уявлень про суспільство внесли В. Г. Афанасьєв, Р. Мертон, Т. Парсонс, Питирим Олександрович Сорокін та ін. Значно розвинені в соціології цілі течії теорій, що одержали назви «функціоналізм», «структуралізм» і «структурний функціоналізм».

Тріумф системного підходу в економічній науці пов'язано з лауреатом Нобелівської премії 1973 р. Василем Васильовичем Леонтьєвим, який досліджував структуру економіки, розробив метод економічних розрахунків «витрати – випуск», «метод міжгалузевого балансу». Політологічне застосування системного підходу забезпечено працями Макса Вебера. Системність у психології зумовлена дослідженнями Петра Кузьмича Анохіна, Олексія Олексійовича Леонтьєва, Олександра Романовича Лурії.

Проникнення системних ідей в управління підготовлено

дослідженнями Р. Акоффа, В. Г. Афанасьєва, В. М. Глушкова.

До теперішнього часу в світі нарахували десятки тисяч публікацій із проблем системного підходу, теорії систем і системного аналізу. Можна говорити про істотне оновлення системних ідей, пов'язане з роботами Валентина Антоновича Карташова, Іллі Романовича Пригожина, Василя Миколайовича Спіцнаделя, Германа Хагена та ін.

1.2. Характеристика основних аспектів системності

Людина, яка починає освоювати ідеї теорії систем, відразу стикається з проблемою початкової невизначеності в поняттях. Досить часто в літературі використовують такі поняття, як «системний підхід», «теорія систем», «системний аналіз», «принцип системності» тощо. Водночас їх не завжди розрізняють і часто застосовують як синоніми.

Найбільш загальним поняттям, яке позначає всі можливі прояви систем, є «системність». Причому в цього терміні існує дві сторони. Перша ототожнює системність з об'єктивною, незалежною від людини властивістю дійсності. Таке розуміння робить її *онтологічною*, об'єктивно-діалектичною властивістю всього існуючого. Друга сторона системності охоплює накопичені людьми уявлення про самі властивості, тобто вона являє собою *гносеологічні* явища, деякі знання про системи різної природи.

Онтологія – розділ філософії, вчення про буття, в якому досліджуються загальні основи, принципи буття, його структуру і закономірності. Онтологія в інформатиці – це спроба всеосяжної і докладної формалізації деякої галузі знань за допомогою концептуальної схеми. Зазвичай така схема складається зі структури даних, що містить усі релевантні класи об'єктів, їх зв'язки і правила (теореми, обмеження), прийняті в цій галузі.

Гносеологія – це розділ філософії, в якому вивчаються закономірності та можливості пізнання, відношення знань до об'єктивної реальності (відчуттів, уявлень, понять),

досліджуються ступені та форми процесу пізнання, умови й критерії його достовірності та істинності.

Гносеологічна (пізнавальна) системність – досить складне й різноманітне явище, що проявляється в трьох аспектах (рис. 1.2).

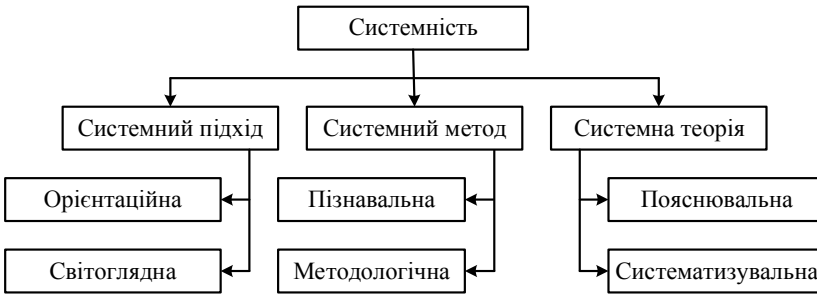


Рисунок 1.2 – Структура системності та складові її функції

1. У *системному підході* як принципі пізнавальної й практичної діяльності людей. Термін «підхід» означає сукупність прийомів, способів впливу на будь-кого, у вивченні будь-чого, веденні справи тощо. У цьому сенсі підхід – скоріше не детальний алгоритм дії людини, а множина деяких *узагальнених правил*. Це лише підхід до справи, а не модель самої справи. Тому системний підхід можна розглядати як *принцип* діяльності. Адже за принцип розуміють найбільш *загальне правило* діяльності, яке забезпечує його правильність, але не гарантує однозначність і успіх. Системний підхід потрібно розглядати як певний методологічний підхід людини до дійсності, що являє собою деяку спільність принципів. Це по суті справи системна парадигма, системний світогляд. Призначення системного підходу полягає в тому, що він направляє людину на системне бачення дійсності. Він змушує розглядати світ з системних позицій, точніше – з позицій його системної будови.

Системний підхід полягає в тому, що будь-який більш-менш складний об'єкт розглядають як відносно самостійну систему з власними особливостями функціонування та розвитку.

Грунтуючись на ідеях цілісності і відносної незалежності об'єктів, що є в цілісному світі, принцип системності передбачає наведення досліджуваного об'єкта за певну систему, яку характеризують такими складовими:

- елементним складом;
- структурою як формою взаємозв'язку елементів;
- функціями елементів і цілого;
- єдністю внутрішнього та зовнішнього середовища системи;
- законами розвитку системи та її складових.

Як пише Олександр Миколайович Авер'янов, системне пізнання та перетворення світу припускає такі дії:

- розгляд об'єкта діяльності (теоретичної і практичної) як системи, тобто обмеженої множини взаємодіючих елементів;
- встановлення складу, структури та організації елементів і частин системи, виявлення провідних взаємодій між ними;
- виявлення зовнішніх зв'язків системи, виділення з них головних зв'язків;
- визначення функцій системи та її ролі серед інших систем;
- аналіз діалектики структури і функцій системи;
- виявлення на цій основі закономірностей і тенденцій розвитку системи.

2. У *теорії систем*, або науковому знанні про системи, що характеризується своїми гносеологічними можливостями. Теорія систем пояснює походження, будову, функціонування та розвиток систем різної природи. Це – не просто світогляд, а строге наукове знання про світ систем.

3. У *системному методі*. Системний метод являє собою деяку інтегральну сукупність відносно *простих методів і прийомів* пізнання, а також перетворення дійсності.

Складові системності реалізують специфічні функції. Так, системний підхід, будучи принципом пізнання, виконує орієнтаційну та світоглядну функції, забезпечує не лише бачення світу, а й орієнтацію в ньому. Системний метод реалізує пізнавальну й методологічну функції, а системна теорія –

функції, що пояснюють і систематизують. Отже, системність є інструментом пізнавальної діяльності, значного арсеналу певних методів пізнання всього існуючого. Системна теорія, як знання про системи, накопичує їх, упорядковує і використовує для пояснення систем різної природи.

Розвиток аспектів системності особливо інтенсивно почався з другої половини ХХ ст. Значний внесок у їх розвиток здійснила науково-технічна революція (НТР). Різноманітні та кардинальні відкриття в галузі науки значною мірою були викликані системним світоглядом і широким застосуванням системного аналізу. Технічна революція, що відбулася слідом за науковою революцією, також була обумовлена системним підходом у створенні технічних нововведень. Нарешті, успіхи виробництва також обумовлені системністю.

Можна з упевненістю констатувати, що ХХ ст. було не лише століттям підкорення атома і створення комп'ютера. Головне його досягнення – *створення системного світогляду, системного методу одержання знань*, які в кінцевому підсумку визначили і мирне використання атомної енергії, і появу комп'ютера, і ще сотні тисяч досягнень у галузях науки, техніки, виробництва, політики та культури.

У ці роки почала оформлятися загальна теорія систем, а також окремі теорії. В подальшому стало відбуватися виділення прикладної сфери системного знання – системотехніки як прикладного, інженерного напрямку знань про системи. Поступово різні види системних теорій інтегрувались у *системологію* (рис. 1.3), яка містить у собі *загальну теорію систем, спеціальні та галузеві теорії систем, системотехніку*. Сутність системології полягає в тому, що вона являє собою інтегральну науку про системи.

Загальна теорія систем інтегрує найбільш узагальнене знання про системи. Вона перебуває під впливом двох наук: *філософії*, яка дає їй обґрунтування категоріального апарату, методи і прийоми пізнання, якісне бачення систем, і *математики*, що забезпечує кількісний аналіз систем.

Величезний вплив на розвиток загальної теорії систем мають логіка, теорія множин, кібернетика та інші науки.

Галузеві теорії систем розкривають специфіку систем різної природи. Тут йдеться мова про теорії фізичних, хімічних, біологічних, економічних, соціальних систем.

Спеціальні теорії систем спрямовані на відображення їх специфічних сторін, аспектів, зрізів, етапів. Вони перебувають під впливом відповідних теорій, наприклад, теорії дисипативних систем, теорії перехідних систем, теорії еволюції систем тощо.

Нарешті, *системотехніка* (прикладна інженерна дисципліна) перебуває під впливом техніки, моделювання, проектування і конструювання, тобто технічної, біологічної, інформаційної та соціальної інженерії.

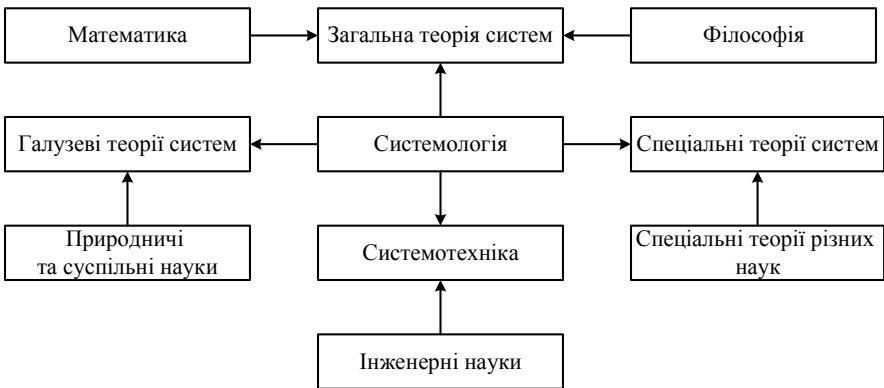


Рисунок 1.3 – Структура системології

В останній чверті ХХ ст. разом із видатними успіхами системності проявилися *кризові процеси*. Системність у низці випадків перестала відповідати на зростаючі методологічні апетити вчених і техніків, політиків і бізнесменів. Почалася криза системності, обумовлена тим, що в епоху індустріального розвитку системність базувалася на методології причинно-наслідкових зв'язків, принципі детермінізму, однозначності в розумінні сутності явищ природи і суспільства. Але зі вступом авангарду сучасної цивілізації в постіндустріальну фазу

розвитку, що характеризується запереченням жорсткого детермінізму, однозначності розуміння природи предметів і явищ, системний підхід став все частіше давати збої. Потрібно зазначити, що основна причина цього не стільки в кризі системності як такої, скільки в кризі її детерміністської транскрипції.

Внаслідок постійної зміни нововведень людство виявилось в постійно перехідному суспільстві, яке складається з підсистем, що безперервно оновлюються. Це суспільство мало потребу принципового оновлення системної методології, що і сталося завдяки формуванню Іллею Романовичем Пригожиним (лауреатом Нобелівської премії 1977 р. у галузі хімії за внесок у термодинаміку нерівноважних процесів, особливо в теорію дисипативних структур) *концепції хаосу і перехідних процесів*. Подальший розвиток ідеї системності призвів до виникнення *концепції синергетики* Г. Хагена і *принципу синергізму*, який був сформований на початку 80-х років ХХ ст., коли системність струснули перші кризи. Принцип синергізму, або мультиплікаційний підхід, відокремився від системного і висувається на перший план серед інших методологічних принципів тому, що науково-технічна революція і соціальні перетворення вимагали дослідження проблеми ефективності. Завдяки цим відкриттям системність виявилася здатною пояснювати перехідні, нестационарні процеси, що і забезпечило подолання кризи.

Варто зауважити, що в літературі нерідко застосовують декілька термінів системності: системний підхід, принцип системності, системний аналіз і системний метод. Найчастіше їх вживають за синоніми, але поняття системний підхід і системний аналіз потрібно розрізняти. Так, якщо системний підхід – це принцип пізнання, то системний аналіз являє собою процес, деяке розгортання принципу системності в методологічний комплекс. Крім того, системний аналіз здійснюють не лише по відношенню до функціонування і розвитку тих чи інших систем, а й по відношенню до сукупності фактів, подій, ідей тощо.

1.3. Основні етапи розвитку системних ідей. Джерела системних ідей

Формування системних ідей відбувалося дуже повільно в процесі становлення людського суспільства та культури. Системні ідеї, як і будь-яке явище природи і суспільства, пройшли декілька найважливіших етапів.

Перший етап розпочався в далекій давнині та завершився до початку ХХ ст. Він був етапом виникнення і розвитку окремих системних ідей і понять, які виникали в практичній і пізнавальній діяльності людей, шліфувалися філософією, мали розрізнений характер. Нерідко вони являли собою несподівані інтуїтивні відкриття тих чи інших видатних вчених, філософів і мислителів.

Другий етап розгортається з початку минулого століття до його середини, коли відбувалася теоретизація системних ідей, формування перших системних теорій, широке розповсюдження системності в різних галузях знань, опанування їх системними ідеями. Системність була перетворена в наукове знання про системи, оформлена як інструмент пізнавальної діяльності.

Третій етап можна охарактеризувати тим, що відбувається перетворення системності в метод наукових досліджень, аналітичної діяльності. Він розгортається з другої половини 50-х років ХХ ст. і збігається з початком науково-технічної революції, яка максимально використовувала системний метод для наукових відкриттів, здійснення технологічних розробок. Системність до кінця ХХ ст. стала загальним світоглядом, який використовують фахівці всіх галузей.

Становлення філософських основ системного підходу являє собою тривалий процес. Слово «система» з'явилося в Стародавній Греції 2 000–2 500 років тому. Однак зачатки системних ідей виникли в ще більш далекій давнині. В її першооснові лежить цілісне міфологічне сприйняття людьми всього існуючого. *Системність* як бачення світу у вигляді

цілісності взаємозв'язаних елементів складалася в процесі еволюції людської практики та мислення. Її становлення відбувалося *завдяки таким факторам*:

– по-перше, проникненню людини в ході пізнання навколишнього світу у внутрішню будову речей і явищ, де щоразу виявлялися різноманітні взаємозв'язки й інші атрибути системності;

– по-друге, внаслідок розумової діяльності, коли кожного разу відбувалося розкладання цілого на частини і, навпаки, з'єднання його складових;

– по-третє, в ході практичної діяльності зі створення цілого з декількох частин, а також поділу цілого на частини. Розбиваючи, дроблячи, ламаючи, людина щоразу вловлювала втрату цілого. Звідси випливає, що *джерелами системних ідей* були такі:

а) *практична діяльність* людей, яка весь час виявляла структури, цілісність об'єктів і явищ, взаємозв'язки між ними. Ціле і частини завжди були наявні в господарській діяльності, торгівлі, військовій справі, будівництві тощо;

б) *філософія*, яка осмислювала основні поняття системності, відривала від реальної дійсності та підіймала до хмар абстрактності;

в) *природні знання та науки*, які формували системне бачення природи;

г) *соціальні науки*, науки про людину, які виробляли системний підхід до суспільства.

Докладніше історичний процес накопичення скарбів системності розглянуто у додатку А.

ТЕМА 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

Зазвичай основні поняття, що характеризують систему, поділяють на дві групи:

- 1) поняття, що характеризують будову системи;
- 2) поняття, що характеризують функціонування та розвиток системи (рис. 2.1).

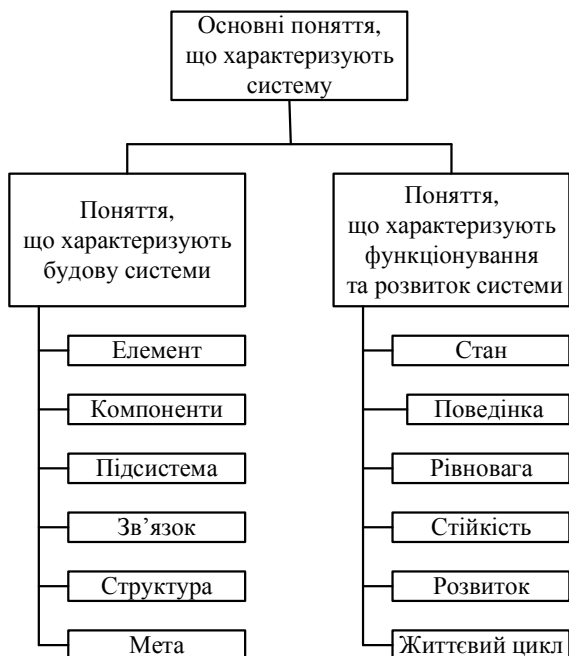


Рисунок 2.1 – Поняття, що характеризують систему

2.1. Поняття: «система», «елемент», «зв'язок», «компоненти і підсистема», «мета», «структура», «функція», «властивості»

Центральним поняттям системного аналізу є поняття «система».

Система – це сукупність елементів (підсистем). За певних умов елементи можна розглядати як системи, а досліджувану систему – як елемент більш складної системи.

Об'єктом пізнання є частина реального світу, яку виділяють і сприймають за єдине ціле впродовж тривалого часу. Об'єкт може бути матеріальним і абстрактним, природним і штучним. Реально об'єкт має нескінченний набір властивостей різної природи.

Елемент. Під елементом прийнято розуміти найпростішу неподільну частину системи. Елемент – це межа членування системи з точки зору аспекту розгляду, вирішення конкретного завдання, поставленої мети. Систему можна поділити на елементи різними способами залежно від формулювання завдання, мети її уточнення в процесі проведення системного дослідження. За необхідності можна змінювати принцип поділу, виділяти інші елементи й одержувати за допомогою нового поділу більш адекватне уявлення про аналізований об'єкт або проблемну ситуацію.

Якщо за елемент системи прийняті поняття, пов'язані між собою певними відношеннями, то маємо справу з символічними (абстрактними) системами. Як приклади таких систем можна навести мови, системи числення, алгоритми тощо. Реальні (речові, фізичні) системи містять у собі щонайменше два фізичних об'єкти. Створення реальної системи означає, що її синтезують з деяких компонентів у такому порядку: задум системи, аналіз і виділення компонентів, конструювання компонентів, об'єднання компонентів у єдине ціле.

Зв'язки між елементами в системі перевершують за силою зв'язки цих елементів з елементами, що не входять у систему. Ця властивість дає можливість виділити систему з середовища.

Зв'язок – це елементи, які здійснюють безпосередню взаємодію між елементами (або підсистемами) системи, а також з елементами і підсистемами оточення. Це поняття входить до будь-якого визначення системи і забезпечує виникнення і збереження структури та цілісних властивостей системи, характеризує як її будову (статичку), так і функціонування (динаміку).

Виходячи з поняття зв'язку, можна сказати, що *система* – це сукупність (множина) окремих об'єктів зі зв'язками між

ними. Якщо можна виявити хоча б два таких об'єкти: вчитель і учень у процесі навчання, продавець і покупець у торгівлі, телевизор і передавальна станція в телебаченні тощо – то це вже є система.

Зв'язок визначають як обмеження ступеня свободи елементів. Дійсно, елементи, вступаючи у взаємодію (зв'язок) між собою, втрачають частину своїх властивостей, які вони потенційно мали у вільному стані. У визначеннях системи терміни зв'язок і відношення зазвичай використовують як синоніми, хоча у деяких дослідників існує інша точка зору.

Зв'язки можна охарактеризувати напрямком, силою, характером (або видом). За першою ознакою зв'язки поділяють на направлені і ненаправлені зв'язки. За силою – на сильні та слабкі. За характером (видом) розрізняють зв'язки підпорядкування, зв'язки породження (або генетичні), рівноправні (чи байдужі) зв'язки, зв'язки управління.

Важливе значення в моделюванні систем має поняття зворотного зв'язку (рис. 2.2).

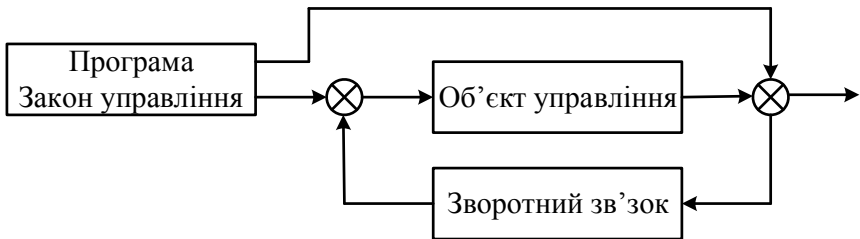


Рисунок 2.2 – Поняття зворотного зв'язку

Зворотний зв'язок може бути додатним, який зберігає тенденції зміни того чи іншого вихідного параметра в системі, і від'ємним – протидіє тенденціям зміни вихідного параметра, тобто спрямований на збереження, стабілізацію необхідного значення параметра (наприклад, стабілізацію вихідної напруги). Зворотний зв'язок є основою саморегулювання, розвитку систем, пристосування їх до мінливих умов існування.

Компоненти і підсистеми. Під час багаторівневого поділу

системи краще використовувати терміни підсистеми або компоненти.

Поняття *підсистема* має на увазі, що виділяють відносно незалежну частину системи, що має *властивості системи* і, зокрема, *має підмету*, на досягнення якої спрямована підсистема, а також інші властивості – властивість цілісності, комунікативності тощо.

Якщо ж частини системи не мають таких властивостей, а являють собою просто сукупності однорідних елементів, то такі частини прийнято називати *компонентами*.

Виділення підсистем залежить від мети і може змінюватися в міру її уточнення та розвитку уявлень дослідника про об'єкт.

Мета. Система завжди має цілі, для яких вона функціонує і існує. Поняття «мета» і пов'язані з ним поняття цілеспрямованості, доцільності лежать в основі розвитку системи.

Аналіз визначень мети і пов'язаних з нею понять показує, що залежно від стадії пізнання об'єкта, етапу системного аналізу поняття «мета» містить у собі різний зміст – від ідеального спрямування (мета – «вираз активності свідомості»: «людина і соціальні системи мають право формулювати цілі, досягнення яких, як їм заздалегідь відомо, неможливо, але до яких можна безперервно наближатися»), до конкретних результатів, досяжних у межах деякого інтервалу часу, що формуються іноді навіть у термінах кінцевого продукту діяльності.

У деяких визначеннях мета наче трансформується, приймаючи різні відтінки в межах умовної «шкали» – від ідеального спрямування – до матеріального втілення, кінцевого результату діяльності (рис. 2.3).

Іноді метою називають «те, до чого прагне, чому поклоняється і за що бореться людина», і навіть «мрія – це мета, не забезпечена засобами її досягнення».

Отже, в принципі, поведінка однієї і тієї самої системи може бути описана і в термінах мети або цільових функціоналів, що пов'язують цілі із засобами їх досягнення (таке уявлення

називають аксіологічним), і без згадки поняття мети в термінах безпосереднього впливу одних елементів або їх параметрів на інші в термінах «простору станів» (або каузально). Тому одна і та сама ситуація може бути наведена різними способами залежно від дослідника.

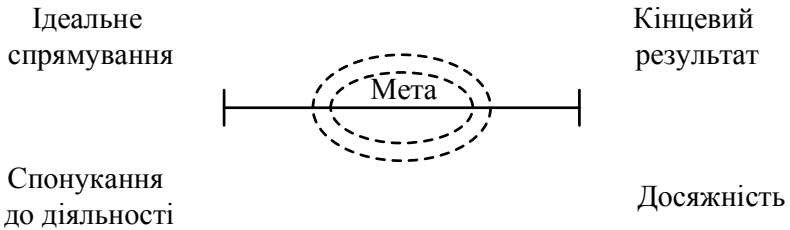


Рисунок 2.3 – Поняття мети

Для відображення діалектичного протиріччя, вкладеного в понятті «мета», існує таке визначення мети: «мета – це заздалегідь мислимий результат свідомої діяльності людини, групи людей» («заздалегідь мислимий», але все ж «результат», втілення задуму; підкреслюється також, що поняття мети пов'язано з людиною, його «свідомою діяльністю»).

Структура – це стійка множина відношень, яка зберігається тривалий час незмінною, принаймні впродовж інтервалу спостереження. Систему можна навести простим перерахуванням елементів, або завданням властивості належності до деякої множини, або послідовним розчленуванням на підсистеми, компоненти, елементи зі взаємозв'язками між ними. В останньому випадку вводять поняття «структура», яке відображає найбільш істотні взаємозв'язки між елементами та їх групами. Такі взаємозв'язки забезпечують існування системи та її основних властивостей. Структурні властивості мають відносну незалежність від елементів і можуть бути інваріантом під час переходу від однієї системи до іншої, переносючи закономірності, виявлені в одній із них, на іншу (навіть якщо ці системи мають різну фізичну природу). Структура може бути наведена графічним

зображенням, теоретико-множинним відношенням, у вигляді матриць. Вид наведення системи залежить від мети відображення.

Функція – це діяльність, робота, зовнішній прояв властивостей будь-якого об'єкта в даній системі відношень. Функції класифікують за різними ознаками залежно від цілей дослідження.

Властивості – це якості параметрів об'єктів, тобто зовнішні прояви того способу, за допомогою якого одержують знання про об'єкт. Властивості дають можливість описувати об'єкти системи кількісно, виражаючи їх в одиницях, що мають певну розмірність. Водночас вони можуть змінюватися в результаті функціонування системи.

2.2. Поняття, що характеризують функціонування та розвиток систем: стан, поведінка, рівновага, стійкість, розвиток, процеси

Процеси, що відбуваються в складних системах, зазвичай не вдається навести відразу у вигляді математичних співвідношень або хоча б алгоритмів. Тому для того, щоб хоч якось охарактеризувати стабільну ситуацію або її зміни, використовують спеціальні терміни, запозичені теорією систем із теорії автоматичного регулювання, біології, філософії тощо.

Розглянемо основні з цих термінів.

Входи системи $x(t)$ – це різні точки прикладання впливу зовнішнього середовища на систему (рис. 2.4). Входами системи можуть бути інформація, речовина, енергія тощо, які підлягають перетворенню.

Виходи системи $y(t)$ – це різні точки прикладання впливу системи на зовнішнє середовище. Вихід системи є результатом перетворення інформації, речовини та енергії.

Зворотний зв'язок з'єднує вихід зі входом системи й використовується для контролю за зміною виходу.

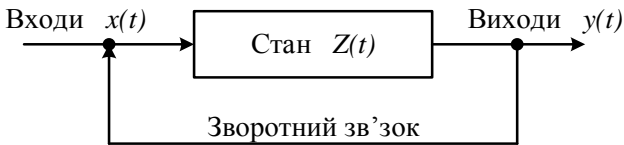


Рисунок 2.4 – Схема системи з одиничним зворотним зв'язком

Обмеження системи визначає умови її функціонування (реалізацію процесу) та забезпечує відповідність між виходом системи та вимогою до нього. Обмеження бувають внутрішніми та зовнішніми. Одним із зовнішніх обмежень є мета функціонування системи. Прикладом внутрішніх обмежень можуть бути ресурси, що забезпечують реалізацію того чи іншого процесу.

Стан. Поняттям «стан» зазвичай характеризують миттєву фотографію, «зріз» системи, зупинення в її розвитку. Його визначають або через входні дії та вихідні сигнали (результати), або через макропараметри, макровластивості системи (тиск, швидкість, прискорення). Так говорять про стан спокою (стабільні входні впливи та вихідні сигнали), про стан рівномірного прямолінійного руху (стабільну швидкість) тощо.

Стан системи $Z(t)$ – сукупність істотних властивостей, які система має в кожен момент часу. Якщо система складається з n елементів, то стан системи визначають сукупністю станів кожного з елементів і зв'язків між ними (двосторонніх зв'язків не може бути більше за $n \cdot (n - 1)$ у системі з n елементами).

Реальна система не може перебувати в будь-якому стані. Завжди є певні обмеження – деякі внутрішні і зовнішні фактори (наприклад, людина не може жити 1 000 років). Можливі стани реальної системи утворюють у просторі станів системи деяку підобласть Z_{co} (підпростір) – множину допустимих станів системи.

Рух системи – це процес послідовної зміни її стану.

Вимушений рух системи – зміна її стану під впливом зовнішнього середовища. Прикладом вимушеного руху може бути переміщення ресурсів за наказом (надійшов у систему ззовні).

Власний рух – зміна стану системи без впливу зовнішнього середовища (лише під дією внутрішніх причин). Власним рухом системи «людина» буде її життя як біологічного (а не суспільного) індивіда, тобто харчування, сон, розмноження.

Розглянемо залежності станів і функції виходів системи від функції її входів.

Стан системи $Z(t)$ у будь-який момент часу t залежить від функції входів $x(t)$ так:

$$Z(t) = F_c[x(t)], \quad (2.1)$$

де F_c – функція станів системи (перехідна функція).

Стан системи $Z(t)$ у будь-який момент часу t також залежить від попередніх її станів у моменти $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ..., тобто від функцій її станів (переходів)

$$Z(t) = F_c[x(t), Z(t-1), Z(t-2), \dots]. \quad (2.2)$$

Зв'язок між *функцією входів* $x(t)$ і *функцією виходів* $y(t)$ системи, без урахування попередніх станів, можна навести у вигляді

$$y(t) = F_g[x(t)], \quad (2.3)$$

де F_g – функція виходів системи.

Систему з такою функцією виходів (2.3) називають *статичною*.

Якщо ж система залежить не лише від функції входів $x(t)$, а й від функцій станів (переходів) $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ..., то функція виходу набере вигляду:

$$y(t) = F_g [x(t), Z(t-1), Z(t-2), \dots]. \quad (2.4)$$

Систему з такою функцією виходів називають *динамічною* (або системою з поведінкою).

Залежно від математичних властивостей функції входів $x(t)$ і виходів $y(t)$ системи поділяють на системи *дискретні* та *безперервні*.

Для безперервних систем вирази (2.1) і (2.3) виглядають так:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = F_c [x(t), Z(t)]; \quad (2.5)$$

$$y(t) = F_g [x(t), Z(t)]. \quad (2.6)$$

Рівняння (2.5) визначає стан системи і називається *рівнянням змінних станів* системи.

Рівняння (2.6) визначає спостережуваний нами вихід системи і називається *рівнянням спостережень*.

Функції F_c (функція станів системи) і F_g (функція виходів) враховують не лише поточний стан $Z(t)$, а й попередні стани $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ..., $Z(t-\nu)$ входів системи.

Попередні стани є параметром «пам'яті» системи. Отже, величина ν характеризує об'єм (глибину) пам'яті системи. Іноді її називають *глибиною інтелекту пам'яті*.

Поведінка системи – процес цілеспрямованої зміни в часі стану системи. Вона описує *характер руху* системи. Якщо система здатна переходити з одного стану до іншого (наприклад,

$Z_1 \rightarrow Z_2 \rightarrow Z_3 \rightarrow \dots$), то говорять, що вона має поведінку. Це поняття використовують, коли є невідомими закономірності (правила) переходу з одного стану до іншого. Тоді говорять, що система має деяку поведінку і з'ясовують її характер, алгоритм. З урахуванням уведених позначень поведінку можна подати у вигляді функції стану $Z(t) = [Z(t-1), y(t), x(t), t]$.

Рівновага. Рівновагою називають здатність системи за відсутності зовнішніх збурювальних впливів (або за постійних дій) зберігати свій стан як завгодно довго. Цей стан називають *станом рівноваги*.

Стійкість. Під стійкістю розуміють здатність системи повертатися в стан рівноваги після того, як вона була з цього стану виведена під впливом зовнішніх (а в системах з активними елементами – внутрішніх) збурювальних впливів. Ця здатність зазвичай властива системам за незмінного виходу системи $y(t)$ лише тоді, коли відхилення не перевищують деякої межі.

Стан рівноваги, в який система здатна повертатися, називають *стійким станом рівноваги*. Повернення в цей стан може супроводжуватися коливальним процесом. Отже, в складних системах можливі нестійкі стани рівноваги.

Прості системи мають пасивні форми стійкості: міцність, збалансованість, керованість, гомеостаз. А для складних систем визначальними є активні форми стійкості: надійність, живучість і здатність до адаптації.

Надійність – властивість збереження структури систем, незважаючи на загибель окремих її елементів, за допомогою їх заміни або дублювання, а *живучість* – властивість системи зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх впливів, що призводять до відмов її складових частин. Отже, надійність є більш пасивною формою, ніж живучість.

Здатність до адаптації – це властивість змінювати поведінку або структуру з метою збереження, поліпшення або придбання нових якостей в умовах зміни зовнішнього середовища. Обов'язковою умовою можливості адаптації є наявність зворотних зв'язків.

Розвиток – незворотна, спрямована, закономірна зміна матерії та свідомості. У результаті виникає нова якість або стан об'єкта. Це поняття допомагає пояснити складні термодинамічні та інформаційні процеси в природі та суспільстві. Дослідження процесу розвитку, співвідношення розвитку та стійкості, вивчення основних механізмів є найбільш складними завданнями теорії систем.

Життєвий цикл – період часу від виникнення потреби в системі та її становлення до зменшення ефективності функціонування системи та її «смерті» або ліквідації.

ТЕМА 3. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ

Системи поділяють на класи за різними ознаками і залежно від розв'язуваної задачі можна вибрати різні принципи класифікації. Водночас систему можна охарактеризувати однією або декількома ознаками. Найчастіше системи класифікують так:

– *за видом наукового напрямку* – математичні, фізичні, хімічні тощо;

– *за ступенем визначеності функціонування*: детерміновані та імовірнісні. Детермінованою називають систему, якщо її поведінку можна абсолютно точно передбачити. Систему, стан якої залежить не лише від контрольованих, а і від неконтрольованих впливів або якщо в ній самій розміщено джерело випадковості, називають імовірнісною. Прикладами ймовірнісних (стохастичних) систем є заводи, аеропорти, мережі та системи ЕОМ, магазини, підприємства побутового обслуговування тощо;

– *за ступенем організованості* – добре організовані, погано організовані (дифузні), самоорганізаційні;

– *за походженням* розрізняють системи природничі, що створені в ході природної еволюції і в цілому не схильні до впливу людини (клітка), і штучні, створені під впливом людини, обумовлені його інтересами та цілями (машина);

– *за основними елементами* системи можуть бути абстрактними, всі елементи яких є поняттями (мови, філософські системи, системи числення), і конкретні, в яких наявні матеріальні елементи;

– *за взаємодією з довкіллям* розрізняють системи замкнені та відкриті. Замкнена система в процесі свого функціонування використовує лише ту інформацію, яку виробляє вона сама (система кондиціонування повітря в замкненому об'ємі). У відкритій системі функціонування визначає як внутрішня, так і зовнішня інформація, що надходить на входи системи. Більшість досліджуваних систем є відкритими, тобто вони зазнають

впливу середовища і реагують на нього і, в свою чергу, впливають на природне середовище;

– за *ступенем складності* розрізняють прості, складні та дуже складні системи. Прості системи характеризуються невеликою кількістю елементів, зв'язки між якими легко піддаються опису (засоби механізації, найпростіші організми). Складні системи складаються з великої кількості елементів і характеризуються розгалуженою структурою, виконують більш складні функції. Зміни окремих елементів і (або) зв'язків призведуть до зміни багатьох інших елементів. Але все ж окремі конкретні стани системи можуть бути описані (автомати, ЕОМ, галактики). Дуже складні системи характеризуються великою кількістю різних елементів, мають безліч структур, не можуть бути повністю описані (мозок, господарство);

– за *природним поділом* системи поділяють на технічні, біологічні, соціально-економічні. Технічні – це штучні системи, створені людиною (машини, автомати, системи зв'язку). Біологічні – різні живі організми, популяції, біогеоценози тощо. Соціально-економічні – системи, що існують в суспільстві, обумовлені присутністю і діяльністю людини (господарство, галузь, бригада тощо);

– за *визначенням вихідних сигналів* системи поділяють на динамічні та статичні. Динамічні системи характеризуються тим, що їх вихідні сигнали в певний момент часу залежать від характеру вхідних впливів у минулому і в поточний час (залежить від передісторії). В іншому випадку системи називають статичними. Прикладами динамічних систем є біологічні, економічні, соціальні системи; такі штучні системи як завод, підприємство, конвеєр тощо;

– за *зміною в часі* розрізняють дискретні та безперервні системи. Якщо вхід і вихід системи вимірюється або змінюється в часі дискретно, через крок t , то систему називають дискретною. Протилежним поняттям є поняття безперервної системи. Прикладами є такі: ЕОМ, електронний годинник, електролічильник – дискретні системи; пісочний годинник,

сонячний годинник, нагрівальні прилади тощо – безперервні системи;

– за типом організації системи поділяють на централізовані (однополюсні, ієрархічні, біполярні з вхідним і вихідним полюсами) та децентралізовані (багатопольюсні мережі, мережі без полюсів з різною довільною топологією, матричні мережі із регулярною топологією, мережі змішаної регулярної та довільної топології);

– за складом функцій системи бувають одно- або багатофункціональні, зі змінним або незмінним складом функцій.

Об'єктом вивчення системного аналізу є, в основному, стохастичні відкриті складні та дуже складні системи будь-якого походження.

Розглянемо деякі види систем більш докладно.

Добре організовані системи. Навести аналізований об'єкт або процес у вигляді «добре організованої системи» означає визначити елементи системи, їх взаємозв'язок, правила об'єднання в більш великі компоненти, тобто визначити зв'язки між усіма компонентами і цілями системи, з точки зору яких розглядають об'єкт або для досягнення яких створена система. Проблемна ситуація може бути описана у вигляді математичного виразу, що пов'язує мету із засобами, тобто у вигляді критерію ефективності, критерію функціонування системи, які можуть бути описані складним рівнянням або системою рівнянь. Вирішення завдання під час наведення його у вигляді добре організованої системи здійснюють аналітичними методами формалізованого подання системи.

Прикладами добре організованих систем є такі: сонячна система, що описує найбільш істотні закономірності руху планет навколо Сонця; відображення атома у вигляді планетарної системи, що складається з ядра та електронів; опис роботи складного електронного пристрою за допомогою системи рівнянь, що враховує особливості умов його роботи (наявність шумів, нестабільність джерел живлення тощо). Для відображення об'єкта у вигляді добре організованої системи

необхідно виділяти істотні і не враховувати неістотні для даної мети розгляду компоненти. Наприклад, під час розгляду сонячної системи можна не враховувати метеорити, астероїди та інші дрібні порівняно з планетами елементи міжпланетного простору.

Опис об'єкта у вигляді добре організованої системи застосовують у тому разі, коли можна запропонувати детермінований опис та експериментально довести правомірність його застосування, адекватність моделі реальному процесу. Спроби застосувати клас добре організованих систем для наведення складних багатокomпонентних об'єктів або багатокритеріальних завдань погано вдаються: вони потребують неприпустимо великих витрат часу, практично не реалізуються і неадекватні застосовуванню моделей.

Погано організовані системи. Під час наведення об'єкта у вигляді «погано організованої чи дифузійної системи» не ставлять завдання визначити всі компоненти системи, їх властивості та зв'язки між ними і цілями системи. Систему характеризують деяким набором макропараметрів і закономірностями, які знаходять за допомогою дослідження не всього об'єкта або класу явищ, а за допомогою деяких правил вибірки компонентів, що характеризують досліджуваний об'єкт або процес. На основі такого вибіркового дослідження одержують характеристики чи закономірності (статистичні, економічні) і поширюють їх на всю систему в цілому. Водночас роблять відповідні застереження. Наприклад, під час одержання статистичних закономірностей їх поширюють на поведінку всієї системи з деякою довіркою ймовірністю.

Підхід до відображення об'єктів у вигляді дифузних систем широко застосовують під час описання систем масового обслуговування, визначення чисельності штатів на підприємствах та установах, дослідження документальних потоків інформації в системах управління тощо.

Самоорганізаційні системи. Відображення об'єкта у вигляді самоорганізаційної системи – це підхід, що дає можливість досліджувати найменш вивчені об'єкти та процеси.

Самоорганізаційні системи мають такі ознаки дифузних систем: стохастичну поведінку, нестационарність окремих параметрів і процесів. До цього додають такі ознаки, як непередбачуваність поведінки; здатність адаптуватися до мінливих умов середовища, змінювати структуру під час взаємодії системи з середовищем, зберігаючи при цьому властивості цілісності; здатність формувати можливі варіанти поведінки й вибирати з них найкращий тощо. Іноді цей клас розбивають на підкласи, виділяючи адаптивні або системи, що самі пристосовуються, системи, що самовідтворюються, й інші підкласи, які відповідають різним властивостям систем, що розвиваються. Прикладами самоорганізаційних систем є біологічні організації, колективна поведінка людей, організація управління на рівні підприємства, галузі, держави в цілому, тобто ті системи, де обов'язково є людський фактор.

Під час застосування відображення об'єкта у вигляді самоорганізаційної системи завдання визначення цілей і вибору засобів зазвичай поділяють.

Більшість прикладів застосування системного аналізу засновані на наведенні об'єктів у вигляді самоорганізаційних систем.

Складні системи. Існує ряд підходів до поділу систем за складністю. Англійський кібернетик Ентоні Стаффорд Бір класифікує всі кібернетичні системи на прості та складні *залежно від способу опису*: детермінованого або теоретико-імовірнісного.

Аксель Іванович Берг визначає складну систему як систему, яку можна описати *не менше ніж двома різними математичними мовами* (наприклад, за допомогою теорії диференціальних рівнянь і алгебри Буля).

Дуже часто складними системами називають системи, які *не можна коректно описати математично*, або тому, що в системі є дуже велика кількість елементів, невідомим чином пов'язаних один з іншим, або невідома природа явищ, що відбуваються в системі. Все це свідчить про відсутність єдиного визначення складності системи.

Так само існує таке визначення: складною системою називають систему, в моделі якої *недостатньо інформації для ефективного управління* цією системою. З цього визначення випливає, що ознакою простоти системи є достатність інформації для її управління. Якщо ж результат управління, одержаний за допомогою моделі, буде несподіваним, то таку систему відносять до складної. Для переведення системи до розряду простих необхідне одержання недостатньої інформації про неї та включення її до моделі.

Під час розроблення складних систем виникають проблеми, пов'язані не лише з властивостями їх складових елементів і підсистем, а також із закономірностями функціонування системи в цілому. Водночас з'являється широке коло специфічних завдань, таких, як визначення загальної структури системи; організація взаємодії між елементами і підсистемами; облік впливу зовнішнього середовища; вибір оптимальних режимів функціонування системи; оптимальне управління системою тощо. Чим складніша система, тим більша увага приділяється вищезазначеним питанням.

Математичною базою дослідження складних систем є теорія систем. У теорії систем великою складною системою, системою великого масштабу (Large Scale Systems) називають систему, якщо вона складається з великої кількості взаємозв'язаних і взаємодіючих між собою елементів і здатна виконувати складну функцію.

Великі системи. Від складних систем необхідно відрізнити великі системи. Під великою системою розуміють сукупність матеріальних ресурсів, засобів збору, передавання та оброблення інформації, людей-операторів, зайнятих на обслуговуванні цих засобів, і людей-керівників, наділених належними правами і відповідальністю для ухвалення рішень. Матеріальні ресурси – це сировина, матеріали, напівфабрикати, грошові кошти, різні види енергії, верстати, обладнання, люди, зайняті на виробництві продукції тощо. Всі зазначені елементи ресурсів об'єднані за допомогою деякої системи зв'язків, які за заданими правилами визначають процес взаємодії між

елементами для досягнення спільної мети або групи цілей. Отже, систему, для актуалізації моделі якої в цілях управління бракує матеріальних ресурсів (машинного часу, ємності пам'яті, інших матеріальних засобів моделювання) називають *великою*. До таких систем відносять економічні, організаційно-управлінські, біологічні нейрофізіологічні системи тощо.

До *характерних особливостей великих систем* відносять такі:

- велику кількість елементів у системі (складність системи);
- взаємозв'язок і взаємодію між елементами;
- ієрархічність структури управління;
- обов'язкова присутність людини в контурі управління, на якого покладена частина найбільш відповідальних функцій управління.

Прикладами великих систем є інформаційна система, пасажирський транспорт великого міста, виробничий процес, система управління польотом великого аеродрому, енергетична система тощо.

Способом переведення великих систем до простих є створення нових більш потужних засобів обчислювальної техніки. Однак чіткої межі, яка відділяє прості системи від великих, немає. Поділ цей умовний і виник через появу систем, що мають у своєму складі сукупність підсистем із наявністю функціональної надмірності. Проста система може перебувати лише в двох станах: стан працездатності (справний) і стані відмови (несправний). Під час відмови елемента проста система або повністю припиняє виконання своєї функції, або продовжує її виконання в повному обсязі, якщо елемент, що відмовив, є резервованим. Велика система за відмови окремих елементів і навіть цілих підсистем не завжди втрачає працездатність, часто лише знижуються характеристики її ефективності. Ця властивість великих систем обумовлена їх функціональною надмірністю і, в свою чергу, ускладнює формулювання поняття «відмова» системи.

ТЕМА 4. СТРУКТУРА СИСТЕМ. ВИДИ ТА ФОРМИ СТРУКТУР

4.1. Структура систем

Система може бути наведена простим перерахуванням елементів або «чорним ящиком» (моделлю «вхід – вихід»). Однак найчастіше під час дослідження об'єкта таке наведення є недостатнім, оскільки потрібно з'ясувати, що собою являє об'єкт, що в ньому забезпечує виконання поставленої мети, одержання необхідних результатів. У такому разі систему відображають методом поділу на підсистеми, компоненти, елементи з взаємозв'язками, які можуть мати різний характер, і вводять поняття структури.

Одна і та сама система може бути наведена різними структурами залежно від стадії пізнання об'єктів або процесів, від аспекту їх розгляду, мети створення. Водночас в міру розвитку досліджень або в ході проектування структура системи може змінюватися.

Структури можуть бути наведені в матричній формі, у формі теоретико-множинних описів, за допомогою мови топології, алгебри й інших засобів моделювання систем.

Структури, особливо ієрархічні, можуть допомогти в розкритті невизначеності складних систем. Іншими словами, структурні наведення систем можуть бути засобом їх дослідження. У зв'язку з цим корисно виділити та дослідити певні види (класи) структур.

4.2. Види і форми наведення структур

Структурні наведення можуть бути засобом дослідження систем. Різні види структур мають свої особливості. Розглянемо такі види структур: мережеві, ієрархічні, багаторівневі ієрархічні, матричні, з довільними зв'язками.

1. *Мережева структура*, або *мережа* (рис. 4.1 а), являє собою *декомпозицію системи в часі*. Такі структури можуть

відображати порядок дії технічної системи (телефонна мережа, залізнична мережа), етапи діяльності людини (під час виробництва продукції – мережевий графік, під час проектування – мережева модель, під час планування – мережевий план тощо). Для аналізу складних мереж існує математичний апарат теорії графів, прикладна теорія мережевого планування та управління.

2. *Ієрархічні структури* являють собою *декомпозицію системи в просторі* (рис. 4.1 б, в). Усі компоненти (вершини, вузли) та зв'язки (дуги, з'єднання вузлів) існують у цих структурах одночасно (не рознесені в часі). Також структури можуть мати велику кількість рівнів декомпозиції (структуризації).

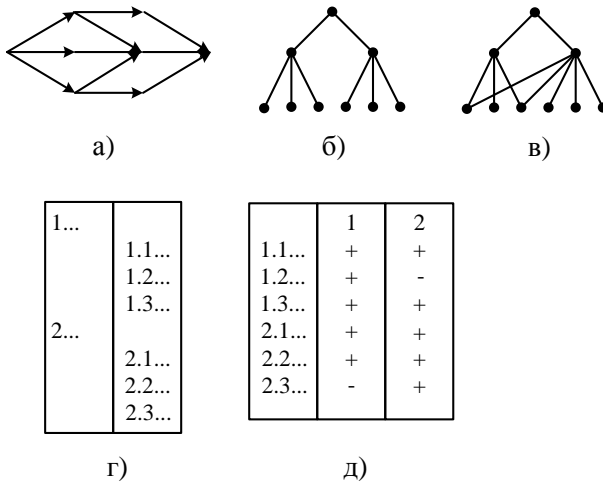


Рисунок 4.1 – Типи структур:

- а) мережева структура;
- б) ієрархічна структура з сильними зв'язками;
- в) ієрархічна структура зі слабкими зв'язками;
- г) матрична структура з сильними зв'язками;
- д) матрична структура зі слабкими зв'язками

Структури типу рисунка 4.1 б, у яких кожен елемент нижчого рівня підпорядкований одному вузлу вищого рівня, називають деревоподібними структурами, структурами типу «дерева», ієрархічними структурами з сильними зв'язками.

Структури типу рисунка 4.1 в, у якій елемент нижчого рівня може бути підпорядкований двом і більше вузлам вищого, називають ієрархічними структурами зі слабкими зв'язками.

Ієрархічним структурам рисунка 4.1 б, в відповідають матричні структури рисунка 4.1 г, д. Відношення мають вигляд слабких зв'язків між двома рівнями на рисунку 4.1 в так само як відношення в матриці, утвореної зі складових цих двох рівнів на рисунку 4.1 д.

Найбільшого поширення одержали деревоподібні ієрархічні структури, за допомогою яких наводять конструкції складних технічних виробів і комплексів (рис. 4.2), структури класификаторів і словників, структури цілей і функцій, виробничі структури (рис. 4.3), організаційні структури підприємств.

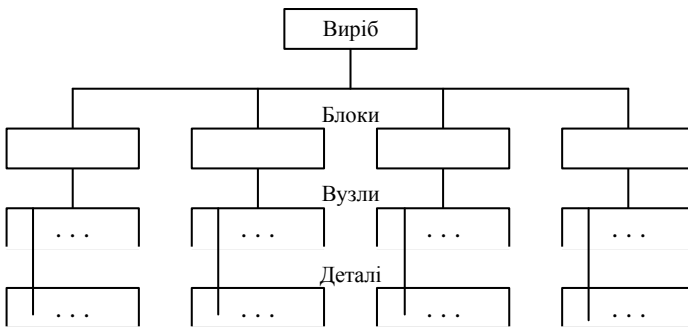


Рисунок 4.2 – Наведення конструкції складних технічних виробів і комплексів

У загальному випадку термін «ієрархія» (підпорядкованість) означає порядок підпорядкування нижчих за посадою та чином осіб вищим, широко застосовують для характеристик взаємин в апараті управління державою, армією тощо. Також концепцію ієрархії поширюють на будь-який

узгоджений за підпорядкуванням порядок об'єктів.

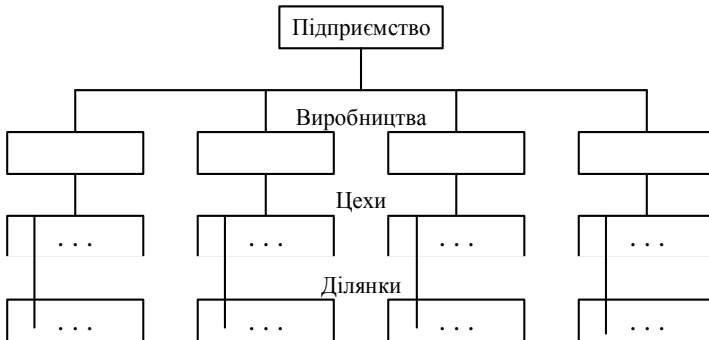


Рисунок 4.3 – Наведення виробничих структур

Тому в ієрархічних структурах важливо лише виділення рівнів підпорядкування, а між рівнями і між компонентами в межах рівня можуть бути будь-які взаємини. У зв'язку з цим існують структури, що використовують ієрархічні принципи, але мають специфічні особливості.

3. *Багаторівневі ієрархічні структури.* У теорії систем М. Месаровича запропоновані особливі класи ієрархічних структур типу «страт», «шарів», «ешелонів», що відрізняються різними принципами взаємовідношення елементів у межах рівня і різним правом втручання вищого рівня в організацію взаємовідношень між елементами нижчого. З огляду на важливість цих видів структур розглянемо їх більш детально.

Страти. Під час відображення складних систем основна проблема полягає в тому, щоб знайти компроміс між простотою опису, що дає можливість скласти і зберігати цілісне уявлення про досліджуваний або проєктований об'єкт, і деталізацією опису, що дає можливість відобразити численні особливості конкретного об'єкта. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є наведення системи сімейством моделей, кожна з яких описує поведінку системи з точки зору відповідного рівня абстрагування. Для кожного рівня існують характерні особливості, закони та принципи, за допомогою яких описують

поведінку системи на цьому рівні. Таке наведення системи називають стратифікованим, а *рівні опису або абстрагування – стратами*.

За приклад стратифікованого опису можна взяти виділення рівнів абстрагування системи від філософського або теоретико-пізнавального опису її задуму до матеріального втілення (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Приклад стратифікованого опису

Таке наведення допомагає зрозуміти, що одну систему на різних стадіях пізнання і проектування можна описувати різними засобами, тобто як би різними мовами.

Страти можна виділити за різними принципами. Наприклад, під час наведення системи управління

підприємством страти можуть відповідати сформованим рівням управління: управління технологічними процесами та організаційне управління підприємством. Якщо підприємство входить в об'єднання, то до цих двох страт може бути доданий рівень управління об'єднанням.

Стратифіковане наведення можна використовувати і як засіб послідовного поглиблення уявлення про систему, її деталізації (рис. 4.5), чим нижче опускаємося по ієрархії страт, тим більш детальним стає розкриття системи; чим вище піднімаємося, тим ясніше стає сенс і значення всієї системи.

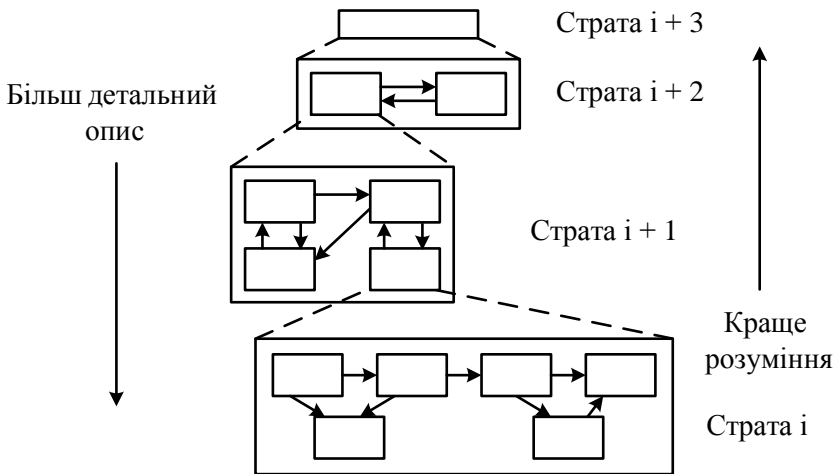


Рисунок 4.5 – Стратифіковане наведення як засіб поглиблення уявлення про систему та її деталізації

Починати вивчення системи можна з будь-якої страти. У процесі дослідження можна додавати нові страти, змінювати підхід до виділення страт. На кожній страті можна використовувати свій опис, свою модель, але систему зберігають доти, поки не змінять уявлення на верхній стратегії – її концепцію, задум, який потрібно намагатися не спотворити під час розкриття на кожній страті.

Шари є другим видом багаторівневої структуризації,

запропонованої М. Месаровичем для організації процесів ухвалення рішень. Для зменшення невизначеності ситуації виділяють *рівні складності ухваленого рішення* – *шари*, тобто визначають сукупність послідовно розв’язуваних проблем.

Ієрархія шарів ухвалення рішень має на увазі дії, коли складні проблеми розкладають на ряд більш простих, вирішення яких і дає вирішення більш складних проблем.

Водночас цьому виділенню проблем здійснюють Отже, щоб вирішення вищерозміщеної проблеми визначало обмеження (допустимий ступінь спрощення) під час моделювання нижчого рівня, тобто знижувало б розподіленість нижчерозміщеної проблеми, але без втрати задуму вирішення загальної проблеми.

Багат шарову ієрархію можна проілюструвати так (рис. 4.6 а): кожен шар являє собою блок D_j , який ухвалює рішення і виробляє обмеження X_j для нижченаведеного блоку.

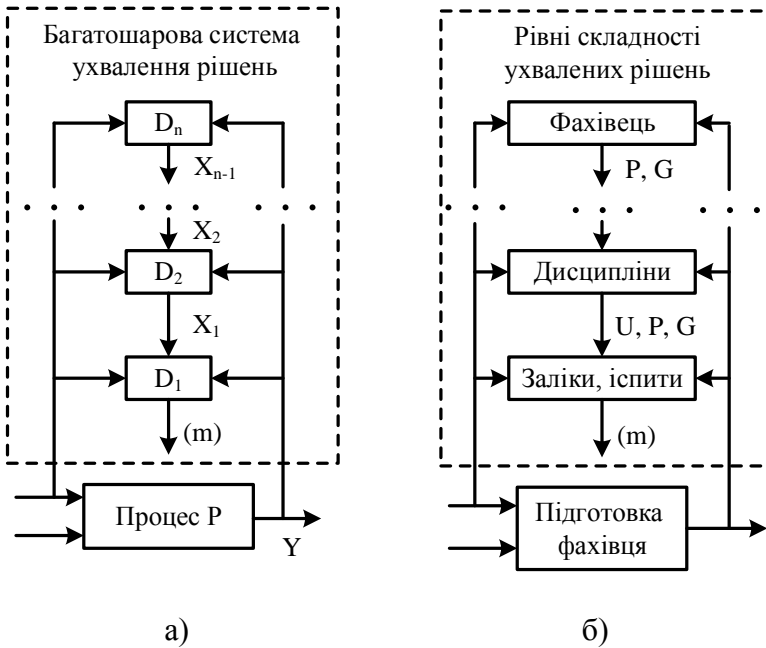


Рисунок 4.6 – Багат шарова ієрархія

Розглянемо багатопшарову структуру на прикладі навчання студентів (рис. 4.6 б). За найвищий (третій) рівень складності (шар) візьмемо підготовку кваліфікованого фахівця. Водночас за функцію виходу P візьмемо знання, одержані в процесі навчання, а за функцію оцінювання G – успішно вивчені дисципліни студентом. На цьому рівні складності обмеженнями є сукупність знань і навичок саме з цього напрямку підготовки.

На другому рівні складності студенти приймають рішення з вибору, які з дисциплін і теорій є найбільш важливими для їх майбутньої спеціальності. На цьому рівні студенти конкретно знають, які дисципліни і теорії будуть вивчати. Але складно сказати, які саме теорії будуть затребувані для виконання необхідних функцій фахівця. Позначимо цю невизначеність через U .

На найнижчому (першому) рівні складності студент приймає рішення, на що звернути особливу увагу в межах кожної з дисциплін, як написати тести, контрольну роботу, іспит тощо, а для цього потрібно старанно вчитися. Звідси випливає, що неухважність студента під час вивчення деяких дисциплін призведе до того, що майбутній фахівець не буде знати, як виконувати потрібні функції, що, в свою чергу, не дасть можливості говорити про кваліфікованого фахівця.

Багатопшарові системи ухвалення рішень корисно формувати для вирішення завдань планування й управління промисловими підприємствами, галузями, народним господарством у цілому.

Ешелони. Поняття багатоешелонної ієрархічної структури вводять так: систему наводять у вигляді відносно незалежних, взаємодіючих між собою підсистем; водночас деякі (або всі) підсистеми мають право ухвалення рішень, а ієрархічне розміщення підсистем (багатоешелонна структура) визначають тим, що деякі з них перебувають під впливом або керуються вищерозміщеними рівнями. Структурні наведення такого типу ілюструє рисунок 4.7. *Організаційний рівень* такої ієрархії

називають *ешелоном*.

Основною відмінною рисою багатоешелонної структури є надання підсистем усіх рівнів певної свободи у виборі їх власних рішень, причому ці рішення можуть бути не тими рішеннями, які вибрав вищерозміщений рівень. Надання свободи дій в ухваленні рішень компонентам усіх ешелонів підвищує ефективність функціонування системи.

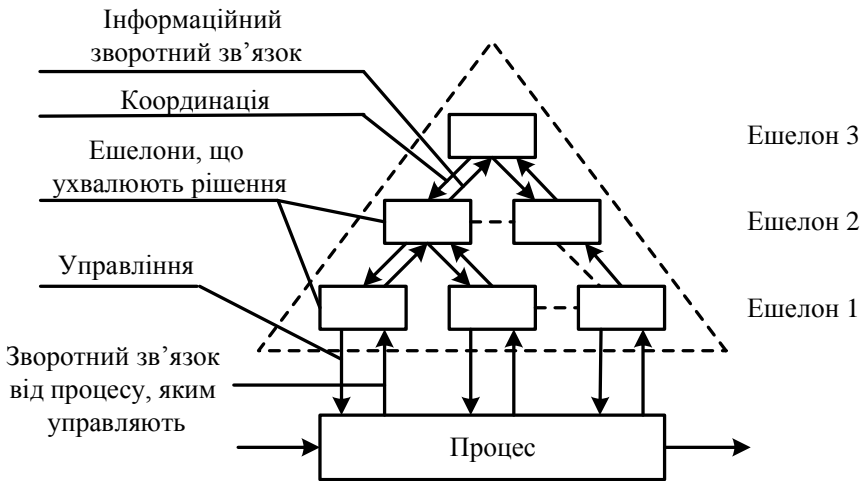


Рисунок 4.7 – Структурні наведення системи ешелонами

Також підсистемам надають певну свободу у виборі цілей. Тому багатоешелонні структури називають також *багатоцільовими*. Отже, під час надання прав самостійності в ухваленні рішень підсистеми можуть формувати суперечливі цілі та рішення, що ускладнює управління. Вирішення конфліктів досягають методом втручання вищого ешелону. Керувальні впливи для вирішення цих протиріч із боку вищерозміщених рівнів ієрархії можуть бути різної сили. Тому управлінський вплив поділений на два поняття: «управління» і «координація». Водночас координація може мати різну силу впливу і здійснюється в різній формі. У зв'язку з цим теорію багаторівневих систем М. Месаровича іноді називають *теорією*

координації.

Як приклад багатоешелонної структури можна навести законодавчу систему США, де у кожному штаті діють свої закони, які нерідко є суперечливими для різних штатів. Але кожен із законів не суперечить закону вищерозміщеного ешелону – Конституції США.

4. *Матричні структури.* У матричній формі (рис. 4.1 г, д) можуть бути наведені взаємовідношення між рівнями ієрархічної структури. Наприклад, деревоподібна ієрархічна структура може бути наведена матричною структурою, що іноді зручніше на практиці під час оформлення планів, оскільки крім ієрархічної підпорядкованості тематичної основи плану в ньому потрібно зазначити виконавців, терміни виконання, форми звітності тощо.

У вигляді двовимірної матричної структури можуть бути наведені взаємовідношення між рівнями ієрархії із слабкими зв'язками (рис. 4.1 д); водночас у матриці може бути охарактеризована і сила зв'язків.

Матричні структури можуть бути і багатовимірними. Але графічне їх наведення стає незручним.

5. *Змішані ієрархічні структури з вертикальними і горизонтальними зв'язками.* У реальних системах організаційного управління (особливо на рівні регіону, держави) можуть бути використані одночасно декілька видів ієрархічних структур – від деревоподібних до багатоешелонних. Такі ієрархічні структури називають *змішаними*. Водночас основою об'єднання структур можуть бути страти, і тому можна вважати їх розвитком стратифікованого наведення. У таких змішаних ієрархічних структурах можуть бути як вертикальні зв'язки різної сили (управління, координація), так і горизонтальні взаємодії між елементами (підсистемами) одного рівня.

Змішаний характер має й організаційна структура сучасного підприємства (об'єднання, акціонерного товариства тощо). Матричні оргструктури є фактично також змішаними, оскільки вони поєднують матричні та ієрархічні наведення.

6. *Структури з довільними зв'язками.* Цей вид структур

зазвичай використовують на початковому етапі пізнання об'єкта, нової проблеми, коли йде пошук способів установалення взаємовідношень між компонентами, немає ясності в характері зв'язків між елементами, не можуть бути визначені не лише послідовності їх взаємодії в часі (мережеві моделі), а і розподіл елементів за рівнями ієрархії. Таке наведення – без зв'язків і з усіма зв'язками (рис. 4.8) – відображає лише різні підходи до дослідження проблеми (можна послідовно прибирати непотрібні зв'язки або можна лише додавати зв'язки).

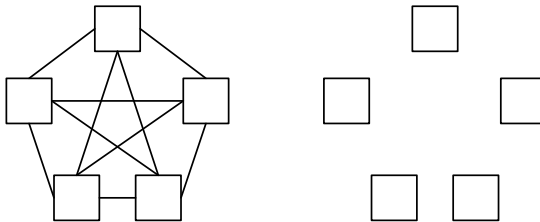


Рисунок 4.8 – Структури з довільними зв'язками

ТЕМА 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА ПРИНЦИПИ СИСТЕМ

Закономірності систем можна умовно поділити на чотири групи (рис. 5.1).

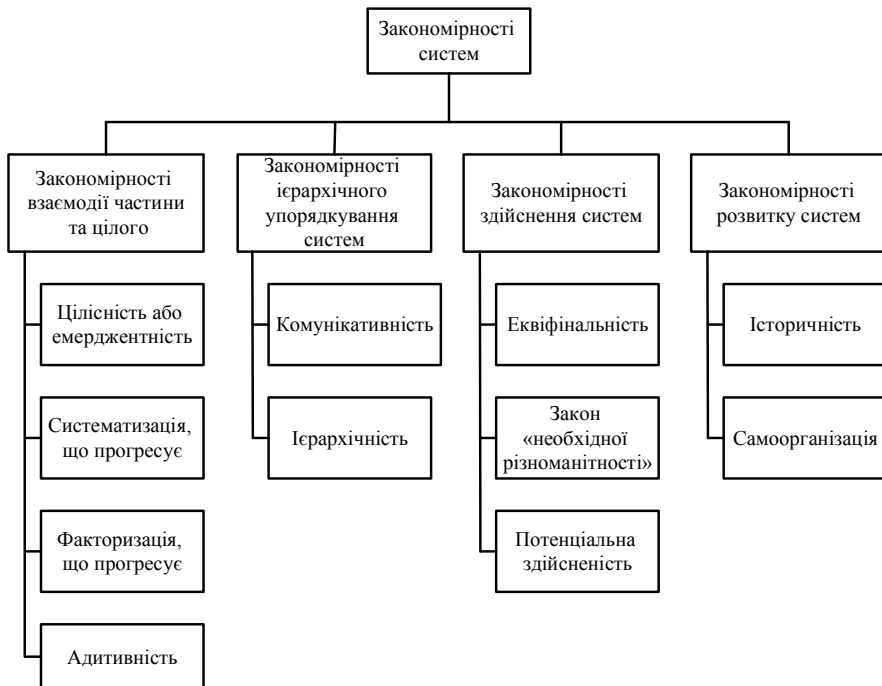


Рисунок 5.1 – Закономірності систем

Розглянемо деякі з закономірностей більш детально.

5.1. Закономірності взаємодії частини та цілого

У процесі вивчення особливостей функціонування та розвитку складних систем з активними елементами був виявлений ряд закономірностей, які допомагають глибше зрозуміти діалектику частини і цілого в системі.

Цілісність. Закономірність цілісності (*емерджентність*) проявляється в системі під час виникнення у ній «нових

інтеграційних якостей, невластивих її компонентам». Прояв цієї закономірності не складно пояснити на прикладах поведінки популяцій, соціальних систем і навіть технічних об'єктів (властивості верстата відрізняються від властивостей деталей, з яких він зібраний).

Для того щоб зрозуміти закономірність цілісності, необхідно, перш за все, враховувати дві її сторони:

– властивість системи (цілого) не є простою сумою властивостей складових її елементів (частин);

– властивість системи (цілого) залежить від властивостей складових її елементів (частин).

Крім цих двох основних сторін необхідно мати на увазі, що об'єднані в систему елементи зазвичай втрачають частину своїх властивостей, властивих їм поза системою, тобто система наче пригнічує ряд властивостей елементів. Але, з іншого боку, елементи, потрапивши в систему, можуть придбати нові властивості.

Властивість цілісності пов'язана з метою, для виконання якої створена система. Водночас, якщо мета не задана в явному вигляді, а у відображуваного об'єкта спостерігають цілісні властивості, можна спробувати визначити мету або вираз, що пов'язує мету із засобами її досягнення (цільову функцію, системоутворювальний критерій), методом вивчення причин появи закономірності цілісності.

5.2. Закономірності ієрархічного впорядкування систем

Комунікативність. Ця закономірність складає основу визначення системи Вадима Миколайовича Садовського та Ерика Григоровича Юдіна, які стверджують, що система не ізольована від інших систем, вона пов'язана великою кількістю комунікацій із середовищем, що являє собою, в свою чергу, складне і неоднорідне утворення, яке містить *надсистему* (систему більш високого порядку, що задає вимоги і обмеження досліджуваній системі), *підсистеми* (нижчерозміщені, підвідомчі системи) і *систему одного рівня* з даною системою.

Таку складну єдність із середовищем називають *закономірністю комунікативності*, яка, в свою чергу, допомагає перейти до ієрархічності як закономірності побудови всього світу і будь-якої виділеної з нього системи.

Ієрархічність. Закономірність ієрархічності або ієрархічної впорядкованості була в числі перших закономірностей теорії систем, які виділив і досліджував Людвіг фон Берталанфі. Він показав зв'язок ієрархічної впорядкованості світу з закономірностями самоорганізації, розвитку відкритих систем.

Ієрархічні наведення систем допомагають краще зрозуміти і дослідити феномен складності. Тому виділимо основні особливості ієрархічної впорядкованості.

Через закономірність комунікативності, яка проявляється не лише між виділеною системою та її оточенням, а й між рівнями ієрархії досліджуваної системи, кожен рівень ієрархічної впорядкованості має складні взаємовідношення з вищим і нижчим рівнями. Кожен рівень ієрархії, що одночасно спрямований у бік нижчого рівня, має характер автономного цілого (системи) і, спрямований до вузла (вершини) вищого рівня, проявляє властивості залежної частини (елемента вищерозміщеної системи, якій він підпорядкований).

Ця конкретизація закономірності ієрархічності пояснює неоднозначність використання в складних організаційних системах понять «система» і «підсистема», «мета» і «засіб» (елемент кожного рівня ієрархічної структури цілей є метою щодо нижчерозміщеної мети і як «підмета», а починаючи з деякого рівня, і як «засіб» щодо вищерозміщеної мети), що призводить до некоректних термінологічних суперечок.

Найважливіша особливість ієрархічної впорядкованості як закономірності полягає в тому, що закономірність цілісності системи (тобто якісні зміни властивостей компонентів більш високого рівня порівняно з об'єднаними компонентами нижчого рівня) проявляється в ній на кожному рівні ієрархії. Водночас об'єднання елементів у кожному вузлі ієрархічної структури призводить не лише до появи нових властивостей у вузла і втрати об'єднаними компонентами свободи прояви деяких своїх

властивостей, а і до того, що кожен підлеглий член ієрархії набуває нових властивостей, які відсутні у нього в ізольованому стані.

Під час використання ієрархічних наведень за засіб дослідження систем з невизначеністю відбувається наче поділ «великої» невизначеності на більш «дрібні», які краще піддаються дослідженню.

Однак необхідно мати на увазі, що через закономірність цілісності одна і та ж система може бути наведена різними ієрархічними структурами.

5.3. Закономірності функціонування та розвитку систем

Останнім часом під час моделювання систем враховують принципи їх розвитку в часі, самоорганізації, які описані закономірностями історичності та самоорганізації.

Історичність. Хоча з точки зору діалектичного та історичного матеріалізму очевидно, що будь-яка система не може бути незмінною, що вона не лише виникає, функціонує, розвивається, а і гине, і кожен може навести приклади становлення, розквіту, занепаду (старіння) та навіть смерті (загибелі) біологічних і соціальних систем. Але для конкретних випадків розвитку організаційних систем і складних технічних комплексів завжди важко визначити ці періоди. Не завжди керівники і конструктори систем враховують, що час є безперервною характеристикою системи, що кожна система підпорядкована закономірності історичності, і що ця закономірність – така сама об'єктивна, як цілісність, ієрархічність. Однак закономірність історичності потрібно враховувати не для того, щоб пасивно фіксувати старіння, а для реконструкції системи з метою збереження її у новій якості.

Закономірність самоорганізації. Основна особливість самоорганізаційних систем з активними елементами – це здатність протистояти ентропійним тенденціям, здатність адаптуватися до умов, що змінюються, перетворюючи за необхідності свою структуру. З іншого боку, в будь-якій

реальній системі, що розвивається, існують дві тенденції: одна – прагнення до зростання ентропії (безладу, хаосу), друга – негентропійна тенденція (упорядкованість, організованість), що є основою еволюції.

Дослідження глибинних причин самоорганізації, саморуху цілісності показує, що основою цієї закономірності є діалектика частини і цілого в системі, яку розглядають з точки зору будови системи, відображення її поточного стану, ступеня цілісності.

5.4. Закономірність здійснення систем

Проблема здійсненності систем є найменш дослідженою. Розглянемо деякі закономірності, які допомагають зрозуміти цю проблему і враховувати її під час визначення принципів проєктування та організації функціонування систем управління.

Еквіфінальність. Ця закономірність характеризує наче граничні можливості системи. Берталанфі запропонував і визначив термін еквіфінальності як «здатність, на відміну від стану рівноваги в закритих системах, повністю детермінованих початковими умовами, ... незалежно від часу досягати стану системи, який не залежить від її початкових умов і визначається виключно параметрами системи».

Отже, за Берталанфі можна говорити про рівень розвитку крокодила, мавпи і характеризувати їх граничними можливостями, гранично можливими станами, до яких може прагнути той чи інший вид, а відповідно і прагненням до цього граничного стану з будь-яких початкових умов, навіть якщо індивід з'явився на світло раніше покладеного часу або провів, подібно Мауглі, деякий початковий період життя в невластивому йому середовищі.

Вільям Росс Ешбі сформулював закон «необхідної різноманітності», який враховує граничну здійсненність системи під час її створення.

Для завдань ухвалення рішень пояснимо наслідок цього закону на простому прикладі. Коли дослідник (особа, яка приймає рішення (ОПР), спостерігач N) стикається з

проблемою D , вирішення якої для нього є очевидним, то існує певна різноманітність можливих рішень V_D . Цієї різноманітності протистоїть різноманітність думок дослідника (спостерігача) V_N . Завдання дослідника полягає в тому, щоб звести різницю $(V_D - V_N)$ до мінімуму, в ідеалі $(V_D - V_N) \rightarrow 0$.

Ешбі довів теорему, на основі якої сформулював такий висновок: «Якщо різноманітності можливих рішень V_D дано стале значення, то різницю між кількістю можливих рішень та кількістю думок дослідника $(V_D - V_N)$ можна зменшити лише за рахунок відповідного зростання V_N ».

З теореми Ешбі випливає, що, створюючи систему, здатну впоратися з вирішенням проблеми, яка має певну, відому різноманітність (складність), потрібно забезпечити, щоб система мала ще більшу різноманітність (знання методів вирішення), ніж різноманітність вирішуваної проблеми, або була здатна створити в собі цю різноманітність (могла розібрати методіку, нові методи вирішення проблеми).

5.5. Закономірності виникнення і формулювання цілей

Сформулюємо деякі загальні принципи, закономірності в дослідженні процесів цілеутворення.

Залежність уявлення про мету і формулювання мети від стадії пізнання об'єкта (процесу) і від часу.

Аналіз визначення поняття «мета» дає можливість зробити висновок про те, що під час формулювання мети потрібно намагатися відобразити її основне протиріччя: її активну роль у пізнанні, управлінні і в той самий час необхідність зробити її реалістичною, спрямувати за її допомогою діяльність на одержання певного корисного результату. У міру розвитку уявлення про результат мету можна переформулювати.

Під час формулювання і перегляду мети колектив, який виконує цю роботу, повинен визначити, в якому сенсі на цьому етапі розгляду об'єкта і розвитку наших уявлень про нього

вживане поняття «мета», до якої точки умовної шкали «ідеальні спрямування в майбутнє – реальний кінцевий результат діяльності» наближають формулювання мети. У міру поглиблення досліджень, пізнання об'єкта ця мета може бути зрушена по цій шкалі.

Залежність мети від зовнішніх і внутрішніх факторів. Під час аналізу причин виникнення і формулювання цілей потрібно враховувати, що на мету впливають як зовнішні щодо системи фактори (зовнішні вимоги, потреби, мотиви, програми), так і внутрішні фактори (мотиви, програми самої системи та її елементів, цілі виконавців тощо). Потрібно зазначити, що внутрішні фактори також об'єктивно впливають на процес цілеутворення, як і зовнішні (особливо під час використання в системах управління поняття мети як засобу спонукання до дії).

Цілі можуть виникати на основі взаємодії протиріч, коаліції як між зовнішніми і внутрішніми факторами, так і між внутрішніми факторами, що існували раніше і тими, що заново виникають.

Ця закономірність характеризує дуже важливу відмінність «відкритих» систем, що розвиваються, з активними елементами від технічних систем, які є зазвичай замкненими. Теорія управління у замкнених системах оперує зазвичай поняттям «мети» як зовнішньою щодо системи, а у «відкритих» системах, що розвиваються, цілі не задають ззовні, а формулюються всередині системи на основі даної закономірності.

Можливість (і необхідність) зведення завдання формування узагальненої (загальної, глобальної) мети до завдання її структуризації. Аналіз процесів формування узагальненої (глобальної) мети в складних системах показує, що ця мета спочатку виникає в свідомості керівника чи іншої особи, яка приймає рішення, не як єдине поняття, а як деяка «розмита» область, образ, «область» мети. Завдання формулювання узагальненої мети в складних системах повинне зводитися до структуризації або декомпозиції мети для деталізації у вигляді невпорядкованого або упорядкованого (структури) набору підцілей і формуватися колективно.

5.6. Закономірності формування структур цілей

Залежність способу наведення цілей від стадії пізнання об'єкта. Цілі можуть бути наведені у формі різних структур за допомогою мережевих графіків (декомпозиція в часі); у вигляді ієрархій різного виду (декомпозиція в просторі); в матричній (табличній) формі. На початкових етапах моделювання системи зручніше застосовувати декомпозицію в просторі і краще деревоподібні ієрархічні структури. Наведення розгорненої послідовності підцілей (функцій) у вигляді мережевої моделі вимагає гарного знання об'єкта, знання законів його функціонування, технології виробництва. У міру роботи модель поетапно поліпшують, доповнюють.

Прояв у структурі цілей закономірності цілісності. В ієрархічній структурі закономірність цілісності (ємерджентність) проявляється на будь-якому рівні ієрархії. Стосовно до структури цілей це означає, що, з одного боку, досягнення мети вищого рівня не може бути повністю забезпечено досягненням підлеглих їй підцілей, хоча і залежить від них, а з іншого боку, потреби, програми потрібно досліджувати на кожному рівні структуризації, і одержувані різними ОПР розподілу підцілей через різне розкриття невизначеності можуть виявитися різними.

Закономірності формування ієрархічних структур цілей. Найбільш поширеним способом наведення цілей у системах (особливо в організаційному управлінні) є деревоподібні ієрархічні структури («дерева цілей»). Тому розглянемо основні рекомендації з їх формування.

Можна розглядати *два підходи*:

- а) формування структур «зверху» – метод структуризації, декомпозиції, цільовий підхід;
- б) формування структур «знизу» – морфологічний, лінгвістичний підхід.

Цілі нижчого рівня ієрархії можна розглядати як засоби для досягнення цілей вищого рівня, водночас вони є цілями для

рівня нижчого щодо них. Тому в реальних умовах одночасно з використанням філософських понять «мета», «підмета», зручно різні рівні ієрархічної структури називати «напрямом», «програмою», «завданням», «задачею» тощо.

Поділ цілей на кожному рівні повинен бути сумірним, а виділені частини – логічно незалежними. Кількість рівнів ієрархії та кількість компонентів у кожному вузлі повинна відповідати числу Колмогорова 7 ± 2 .

РОЗДІЛ 2 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

ТЕМА 6. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

6.1. Сутність системного аналізу

Системний аналіз як дисципліна сформувався внаслідок виникнення необхідності досліджувати та проектувати складні системи, управляти ними в умовах *неповноти інформації, обмеженості ресурсів і дефіциту часу*. Системний аналіз є подальшим розвитком цілої низки дисциплін, таких як дослідження операцій, теорія оптимального управління, теорія ухвалення рішень, експертний аналіз, теорія організації експлуатації систем тощо. Для успішного вирішення поставлених завдань системний аналіз використовує всю сукупність *формальних і неформальних* процедур. Перераховані теоретичні дисципліни є базою та методологічною основою системного аналізу. Отже, системний аналіз – міждисциплінарний курс, узагальнюючий методологію дослідження складних технічних, природних і соціальних систем. Поширення ідей і методів системного аналізу, а головне – успішне їх застосування на практиці, стало можливим лише завдяки впровадженню і повсюдному використанню ЕОМ. Саме застосування ЕОМ як інструмент вирішення складних завдань дало можливість перейти від побудови теоретичних моделей систем до їх широкого практичного застосування. У зв'язку з цим Микита Миколайович Мойсеев писав, що системний аналіз – це сукупність методів, заснованих на використанні ЕОМ і орієнтованих на дослідження складних систем – технічних, економічних, екологічних тощо. *Центральною проблемою системного аналізу є проблема ухвалення рішення*. Стосовно завдань дослідження, проектування та управління складними системами проблема ухвалення рішення пов'язана з вибором певної альтернативи в умовах різного роду *невизначеностей*.

Невизначеність пов'язана з такими умовами:

- багатокритеріальністю завдань оптимізації;
- невизначеністю цілей розвитку систем;
- неоднозначністю сценаріїв розвитку системи;
- недостатністю апріорної інформації про систему;
- впливом випадкових факторів у ході динамічного розвитку системи тощо.

З огляду на ці обставини системний аналіз можна визначити як дисципліну, що займається проблемами ухвалення рішень в умовах, коли вибір альтернативи вимагає аналізу складної інформації різної фізичної природи.

Головним змістом дисципліни «системний аналіз» є складні проблеми ухвалення рішень, під час вивчення яких неформальні процедури наведення здорового глузду і способи описання ситуацій є не менш важливими за формальний математичний апарат.

Системний аналіз є дисципліною синтетичною. У ньому можна виділити *три основні напрямки*, що відповідають *трьом етапам*, які завжди наявні в дослідженні складних систем:

- 1) побудові моделі досліджуваного об'єкта;
- 2) постановці завдання дослідження;
- 3) розв'язанню поставленої математичної задачі.

Розглянемо ці етапи більш детально.

Побудова моделі (формалізація досліджуваної системи, процесу або явища) є описанням процесу *мовою математики*. Під час побудови моделі здійснюють математичне описання явищ і процесів, що відбуваються в системі. Оскільки знання завжди відносне, описання будь-якою мовою відображає лише деякі сторони процесів, що відбуваються, і ніколи не є абсолютно повним. З іншого боку, потрібно зазначити, що під час побудови моделі необхідно приділяти основну увагу тим сторонам процесу, що вивчається, які цікавлять дослідника. Глибоко помилковим є бажання під час побудови моделі системи відобразити всі сторони існування системи. Під час проведення системного аналізу дослідника зазвичай цікавить динамічна поведінка системи, причому під час описання

динаміки з точки зору проведеного дослідження є першорядні параметри і взаємодії, а є неістотні в цьому дослідженні параметри. Отже, якість моделі визначають відповідністю виконаного описання тим вимогам, які висувають до дослідження, відповідністю одержуваних за допомогою моделі результатів ходу спостережуваного процесу або явища. Побудова математичної моделі є основою всього системного аналізу, центральним етапом дослідження або проєктування будь-якої системи. Від якості моделі залежить результат усього системного аналізу.

Постановка завдання дослідження. На цьому етапі формулюють мету аналізу. Мета дослідження є зовнішнім фактором щодо системи. Отже, мета стає самостійним об'єктом дослідження. Мета повинна бути формалізована.

Завдання системного аналізу полягає у здійсненні необхідного аналізу невизначеностей, обмежень і формулюванні, в кінцевому рахунку, деякої оптимізаційної задачі, наприклад, $f(x) \rightarrow \max, x \in G$. Тут x – елемент деякого нормованого простору G , що визначається природою моделі, $G \subset E$, де E – множина, яка може мати складну природу, обумовлену структурою моделі та особливостями досліджуваної системи.

Отже, завдання системного аналізу на цьому етапі трактується як деяка *оптимізаційна проблема*. Аналізуючи вимоги до системи, тобто цілі, які передбачає досягти дослідник, і ті невизначеності, які при цьому неминуче наявні, дослідник повинен описати мету аналізу мовою математики. Мова оптимізації є тут природною і зручною, але зовсім не єдино можливою.

Розв'язання поставленої математичної задачі. Лише цей третій етап аналізу можна віднести саме до етапу, який використовує повною мірою математичні методи. Хоча без знання математики та можливостей її апарату успішне виконання двох перших етапів неможливо, оскільки і під час побудови моделі системи, і під час формулювання мети і задач аналізу широке застосування повинні набувати способи

формалізації. Однак зазначимо, що саме на завершальному етапі системного аналізу можуть знадобитися тонкі математичні методи. Але потрібно мати на увазі, що завдання системного аналізу можуть мати низку особливостей, які призводять до необхідності застосування поряд з формальними процедурами евристичних підходів. Причини, через які звертаються до евристичних методів, в першу чергу, пов'язані з неповнотою апріорної інформації про процеси, що відбуваються в аналізованій системі. Також до таких причин можна віднести велику розмірність вектора x і складність структури множини G . У цьому разі складнощі, що виникають унаслідок необхідності застосування неформальних процедур аналізу, часто є визначальними. Успішне вирішення завдань системного аналізу вимагає використання на кожному етапі дослідження неформальних міркувань. Зважаючи на це, перевірка якості рішення, його відповідність вихідній мети дослідження перетворюється в найважливішу теоретичну проблему.

У системному аналізі використовують як математичний апарат загальної теорії систем, так й інші якісні та кількісні методи з галузі математичної логіки, теорії ухвалення рішень, теорії ефективності, теорії інформації, структурної лінгвістики, теорії нечітких множин, методів штучного інтелекту, методів моделювання.

6.2. Основні задачі та визначення системного аналізу

У процесі створення інформаційних систем дослідники прагнуть до найбільш повного та об'єктивного наведення об'єкта автоматизації – опису його внутрішньої структури, що пояснює причинно-наслідкові закони функціонування й дає можливість передбачити, а отже, і управляти його поведінкою. Однією з умов автоматизації є адекватне наведення системи з управлінням у вигляді складної системи.

Вважають, що системний аналіз – це методологія вирішення проблем, яка заснована на структуризації систем і кількісному порівнянні альтернатив. Інакше кажучи, системним

аналізом називають логічно пов'язану сукупність теоретичних та емпіричних положень у галузі математики, природничих наук і досвіду розроблення складних систем, що забезпечує підвищення обґрунтованості рішення конкретної проблеми.

Застосування системного аналізу під час побудови інформаційних систем дає можливість виділити перелік і вказати доцільну послідовність виконання взаємозв'язаних завдань, що дають можливість не випустити з розгляду важливі сторони і зв'язки досліджуваного об'єкта автоматизації.

До складу *задач системного аналізу* в процесі створення інформаційних систем входять *задачі декомпозиції, аналізу та синтезу*.

Задача декомпозиції означає наведення системи у вигляді підсистем, що складаються з більш дрібних елементів. Часто задачу декомпозиції розглядають як складову частину аналізу.

Задача аналізу полягає в знаходженні різного роду властивостей системи або середовища, що оточує систему. Метою аналізу може бути визначення закону перетворення інформації, що задає поведінку системи. В останньому випадку мова йде про агрегації (композиції) системи в один єдиний елемент.

Задача синтезу системи є протилежною задачі аналізу. Необхідно за описаним законом перетворення побудувати систему, що фактично виконує це перетворення за певним алгоритмом. Водночас повинен бути попередньо визначений клас елементів, з яких будується система, що реалізує алгоритм функціонування.

У межах кожної задачі виконують окремі процедури. Наприклад, задача декомпозиції складається з процедур спостереження, вимірювання властивостей системи. У задачах аналізу та синтезу виділяють процедури оцінювання досліджуваних властивостей, алгоритмів, що реалізують заданий закон функціонування. Тим самим вводять різні визначення еквівалентності систем, що роблять можливою постановку задач оптимізації, тобто задач знаходження в класі

еквівалентних систем системи з екстремальними значеннями визначених функціоналів.

Стисло сформулюємо *основні визначення* системного аналізу.

Елемент – деякий об’єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що має ряд важливих властивостей і який реалізує в системі певний закон функціонування F^S , внутрішню структуру якого не розглядають.

Під *властивістю* розуміють сторону об’єкта, що зумовлює його відмінність від інших об’єктів або схожість із ними і якою управляють під час взаємодії з іншими об’єктами.

Властивості поділяють на *зовнішні*, які проявляються у формі вихідних характеристик лише під час взаємодії із зовнішніми об’єктами, і *внутрішні*, які проявляються у формі змінних станів під час взаємодії з внутрішніми елементами і є причиною зовнішніх властивостей. Однією з основних цілей системного аналізу є виявлення внутрішніх властивостей системи, що визначають її поведінку.

Деякі властивості можна охарактеризувати величинами, які набувають числового значення. У такому разі їх називають *параметрами*.

Властивості задають відношеннями. Існує декілька форм наведення відношень: функціональна (функція, функціонал, оператор), матрична, таблична, логічна, графова, алгоритмічна, перетинами. Формально властивості можуть бути наведені також і у вигляді закону функціонування елемента.

Законом функціонування F^S називають залежність $y(t) = F^S(x, n, u, t)$, що описує процес функціонування елемента системи в часі. Тут y – вихідна характеристика системи; x – вхідний вплив на систему; n – вплив зовнішнього середовища, u – вплив управління.

Оператор F^S перетворює незалежні змінні в залежні та відображає поведінку елемента (системи) в часі – процес зміни стану елемента (системи), що оцінюють за ступенем досягнення мети його функціонування. Поняття поведінки прийнято

відносити лише до цілеспрямованих систем і оцінювати за показниками.

Характеристика – це те, що відображає деяку властивість системи. Характеристики елемента є залежними змінними і відображають властивості елементів.

Показник – характеристика, що відображає деяку j -ту систему або цільову спрямованість процесу (операції), що реалізується j -тою системою.

Алгоритм функціонування A^S – це метод одержання вихідних характеристик $y(t)$ з урахуванням вхідних впливів $x(t)$, впливів управління $u(t)$ і впливів зовнішнього середовища $n(t)$.

Якість – сукупність істотних властивостей об'єкта, які обумовлюють його придатність для використання за призначенням.

Критерій ефективності – узагальнений показник і правило вибору кращої системи (кращого рішення).

Проблема – невідповідність між існуючим і бажаним (цільовим) станом системи за даним станом середовища у даний момент часу.

6.3. Основні принципи, етапи та послідовність системного аналізу

Основні принципи системного аналізу

Перший принцип системного аналізу – це вимога розглядати сукупність елементів системи як одне ціле або, більш жорстко, – *заборона на розглядання системи за просте об'єднання елементів*.

Другий принцип полягає у визнанні того, що *властивості системи не просто сума властивостей її елементів*. Тим самим постулюється можливість того, що система має особливі властивості, яких може і не бути в окремих елементів. Ці два принципи впливають із закономірності цілісності.

Дуже важливим атрибутом системи є її ефективність. Теоретично доведено, що завжди існує функція цінності системи у вигляді залежності її ефективності (дуже часто такою є економічний показник) від умов будови і функціонування. Крім того, ця функція обмежена, а отже, можна і потрібно шукати її максимум. *Максимум ефективності системи* вважають *третім* її основним принципом.

Четвертий принцип забороняє розглядати цю систему окремо від навколишнього до неї середовища як автономну, відособлену. Це означає обов'язковість урахування зовнішніх зв'язків або, в більш загальному вигляді, вимогу розглядати аналізовану систему як частину (підсистему) деякої більш загальної системи.

Погодившись з необхідністю врахування зовнішнього середовища, визнаючи логічність розгляду цієї системи за частину деякої, більшої за неї, можна прийти до *п'ятого принципу* системного аналізу – *можливості* (а іноді і необхідності) *поділу цієї системи на частини, підсистеми*. Якщо останні виявляються недостатньо простими для аналізу, їх також поділяють. Але в процесі такого поділу не можна порушувати попередні принципи – поки вони додержані, поділ виправданий, дозволений в тому сенсі, що гарантує застосовність практичних методів, прийомів, алгоритмів вирішення завдань системного аналізу.

Етапи і послідовність системного аналізу. Під час вивчення системного підходу застосовують такий образ мислення, який, з одного боку, сприяє усуненню зайвої ускладненості, а з іншого – допомагає керівнику з'ясувати суть складних проблем і приймати рішення на основі чіткого уявлення про навколишнє оточення. Важливо структурувати завдання, окреслити межі системи. Але настільки ж важливо врахувати, що системи, з якими керівнику доводиться стикатися в процесі своєї діяльності, є частиною більш великих систем, можливо, що включають всю галузь або декілька, часом багато, компаній і галузей промисловості, або навіть все суспільство в цілому. Далі варто зазначити, що ці системи весь час

змінюються, вони створюються, діють, реорганізуються, і, буває, ліквідуються.

Здебільшого під час практичного застосування системного аналізу для дослідження властивостей і подальшого оптимального управління системою можна виділити такі *основні етапи*:

- 1) змістовну постановку завдання;
- 2) побудову моделі досліджуваної системи;
- 3) відшукування рішення завдання за допомогою моделі;
- 4) перевірку цього рішення за допомогою моделі;
- 5) підналаштування рішення під зовнішні умови;
- 6) здійснення рішення.

У кожному конкретному разі етапи системного аналізу мають різну «питому вагу» в загальному обсязі робіт за часовими витратними й інтелектуальними показниками. Дуже часто важко провести чіткі межі – зазначити, де закінчується один етап і починається інший.

Системний аналіз не може бути повністю формалізований, але можна вибрати певний алгоритм його здійснення.

Системний аналіз може бути виконаний у такій *послідовності*:

1) постановка проблеми – відправний момент дослідження. У дослідженні складної системи йому передують робота зі структурування проблеми;

2) розширення проблеми до проблематики, тобто знаходження системи проблем, істотно пов'язаних із досліджуваною проблемою, без урахування яких вона не може бути вирішена;

3) виявлення цілей. Цілі свідчать про напрямок, в якому потрібно рухатися, щоб поетапно вирішити проблему;

4) формування критеріїв. Критерій – це кількісне відображення ступеня досягнення системою поставлених перед нею цілей. Критерій – це правило вибору кращого варіанта рішення з ряду альтернативних. Критеріїв може бути декілька. Багатокритеріальність є способом підвищення адекватності описання мети. Критерії повинні описати за можливістю всі

важливі аспекти мети, але водночас необхідно мінімізувати кількість необхідних критеріїв;

5) агрегування критеріїв. Виявлені критерії можуть бути об'єднані або в групи, або замінені узагальнювальним критерієм;

6) генерування альтернатив і вибір за критеріями найкращої з них. Формування множини альтернатив є творчим етапом системного аналізу;

7) дослідження ресурсних можливостей, зокрема й інформаційних ресурсів;

8) вибір формалізації (моделей і обмежень) для вирішення проблеми;

9) побудова системи;

10) використання результатів проведеного системного дослідження.

6.4. Завдання та процедури системного аналізу

Характеристика завдань системного аналізу. Системний аналіз у наш час винесений на саме вістря наукових досліджень. Він покликаний дати науковий апарат для аналізу та вивчення складних систем. Лідуюча роль системного аналізу обумовлена тим, що розвиток науки призвів до постановки тих завдань, які покликані вирішувати системний аналіз. Особливість поточного етапу полягає в тому, що системний аналіз, ще не встигнувши сформуватися в повноцінну наукову дисципліну, змушений існувати і розвиватися в умовах, коли суспільство починає відчувати потребу в застосуванні ще недостатньо розроблених і апробованих методів і результатів і не в змозі відкласти вирішення пов'язаних з ними завдань на завтра. У цьому джерело як сили, так і слабкості системного аналізу: сили – тому, що він весь час відчуває вплив потреби практики, змушений безперервно розширювати коло об'єктів дослідження і не має можливості абстрагуватися від реальних потреб суспільства; слабкості – тому, що нерідко застосування «сирих», недостатньо опрацьованих методів системних

досліджень призводить до ухвалення скоростиглих рішень, нехтування реальними складнощами.

Розглянемо основні завдання, на вирішення яких спрямовані зусилля фахівців та які потребують подальшого розроблення.

По-перше, необхідно зазначити завдання дослідження системи взаємодії аналізованих об'єктів із довкіллям. Вирішення цього завдання передбачає:

- проведення межі між досліджуваною системою і довкіллям, яка зумовлює граничну глибину впливу розглянутих взаємодій, якими обмежується розгляд;
- визначення реальних ресурсів такої взаємодії;
- розгляд взаємодії досліджуваної системи з системою більш високого рівня.

Завдання другого типу пов'язані з конструюванням альтернатив цієї взаємодії, альтернатив розвитку системи в часі і в просторі.

Важливий напрямок розвитку методів системного аналізу пов'язано зі спробами створення нових можливостей конструювання оригінальних альтернатив рішення, несподіваних стратегій, незвичних уявлень і прихованих структур. Іншими словами, мова тут йде про розроблення методів і засобів підсилення індуктивних можливостей людського мислення на відміну від його дедуктивних можливостей, на підсилення яких спрямоване розроблення формальних логічних засобів. Дослідження в цьому напрямку розпочато лише зовсім недавно, і єдиний концептуальний апарат у них поки відсутній. Проте, і тут можна виділити декілька важливих напрямків – таких, як розроблення формального апарату індуктивної логіки, методів морфологічного аналізу та інших структурно-синтаксичних методів конструювання нових альтернатив, методів синектики й організації групової взаємодії під час вирішення творчих завдань, а також вивчення основних парадигм пошукового мислення.

Завдання третього типу полягають у конструюванні множини імітаційних моделей, що описують вплив тієї чи іншої

взаємодії на поведінку об'єкта дослідження. Зазначимо, що в системних дослідженнях не мають на меті створення деякої супермоделі. Мова йде про розроблення окремих моделей, кожна з яких вирішує свої специфічні питання.

Навіть після того як подібні імітаційні моделі створені і досліджені, питання про об'єднання різних аспектів поведінки системи в деяку єдину схему залишається відкритим. Однак вирішити його можна і потрібно не за допомогою побудови супермоделі, а аналізуючи реакції на поведінку інших взаємодіючих об'єктів, тобто методом дослідження поведінки об'єктів-аналогів і перенесення результатів цих досліджень на об'єкт системного аналізу. Таке дослідження дає підставу для змістовного розуміння ситуацій взаємодії та структури взаємозв'язків, що визначають місце досліджуваної системи в структурі суперсистеми, компонентом якої вона є.

Завдання четвертого типу пов'язані з конструюванням моделей ухвалення рішень. Будь-яке системне дослідження пов'язане з дослідженням різних альтернатив розвитку системи. Завдання системних аналітиків – вибрати і обґрунтувати найкращу альтернативу розвитку. На етапі вироблення і ухвалення рішень необхідно враховувати взаємодію системи з її підсистемами, поєднувати цілі системи з цілями підсистем, виділяти глобальні та другорядні цілі.

Найбільш розвинена і в той самий час найбільш специфічна сфера наукової творчості пов'язана з розвитком теорії ухвалення рішень і формуванням цільових структур, програм і планів. Тут не відчувається нестачі і в роботах, і в дослідниках, які активно працюють. Однак і в цьому разі занадто багато результатів є на рівні непідтвердженого винахідництва і різночитань у розумінні як змісту поставлених завдань, так і засобів їх вирішення. Дослідження в цій сфері мають такі *напрямки*:

а) побудову теорії оцінювання ефективності прийнятих рішень або сформованих планів і програм;

б) рішення проблеми багатокритеріальності в оцінюваннях альтернатив рішення або планування;

в) дослідження проблеми невизначеності, особливо пов'язаної не з факторами статистичного характеру, а з невизначеністю експертних суджень і невизначеністю, пов'язаною зі спрощенням уявлень про поведінку системи;

г) розроблення проблеми агрегування індивідуальних переваг на рішеннях, що торкаються інтересів декількох сторін, які впливають на поведінку системи;

д) вивчення специфічних особливостей соціально-економічних критеріїв ефективності;

е) створення методів перевірки логічної узгодженості цільових структур і планів і встановлення необхідного балансу між зумовленістю програми дій та її підготовленістю до перебудови під час надходження нової інформації як про зовнішні події, так і зміну уявлень про виконання цієї програми.

Для останнього напрямку необхідне нове усвідомлення реальних функцій цільових структур, планів, програм і визначення тих, які вони повинні виконувати, а також зв'язків між ними.

Розглянені завдання системного аналізу не охоплюють весь перелік завдань. Тут зазначені лише найбільш складні завдання. Необхідно зазначити, що всі завдання системних досліджень тісно взаємозв'язані між собою, не можуть бути ізольовані та вирішені окремо як за часом, так і за складом виконавців. Більш того, щоб вирішувати всі ці завдання, дослідник повинен мати широкий кругозір і багатий арсенал методів і засобів наукового дослідження.

Особливості завдань системного аналізу. Кінцевою метою системного аналізу є вирішення проблемної ситуації, що виникла перед об'єктом проведеного системного дослідження (зазвичай це конкретна організація, колектив, підприємство, окремих регіон, соціальна структура тощо). Системний аналіз займається вивченням проблемної ситуації, з'ясуванням її причин, виробленням варіантів її усунення, ухваленням рішення і організацією подальшого функціонування системи, що вирішує проблемну ситуацію.

Початковим етапом будь-якого системного дослідження є вивчення об'єкта системного аналізу з подальшою його формалізацією. На цьому етапі виникають завдання, що в корені відрізняють методологію системних досліджень від методології інших дисциплін, а саме, в системному аналізі вирішують двоєдине завдання: з одного боку, *необхідно формалізувати об'єкт системного дослідження*, з іншого боку, формалізації підлягає процес дослідження системи, процес постановки і вирішення проблеми. Наведемо приклад з теорії проектування систем. Сучасну теорію автоматизованого проектування складних систем можна розглядати як одну з теорій системних досліджень. Відповідно до неї проблема проектування складних систем має два аспекти. По-перше, потрібно здійснити формалізований опис об'єкта проектування. Причому на цьому етапі вирішують завдання формалізованого опису як статичної складової системи (в основному формалізації підлягає її структурна організація), так і її поведінки в часі (динамічні аспекти, які відображають її функціонування). По-друге, потрібно формалізувати процес проектування. Складовими частинами процесу проектування є методи формування різних проектних рішень, методи їх інженерного аналізу та методи ухвалення рішень з вибору найкращих варіантів реалізації системи.

Важливе місце в процедурах системного аналізу займає *проблема ухвалення рішення*. Особливістю завдань, що виникають перед системними аналітиками, є необхідність відзначити вимоги оптимальності прийнятих рішень. Зараз доводиться вирішувати завдання оптимального управління складними системами, оптимального проектування систем, що містять у собі велику кількість елементів і підсистем. Розвиток техніки досягнув такого рівня, за якого створення лише працездатної конструкції саме по собі вже не завжди задовольняє провідні галузі промисловості. Необхідно в ході проектування забезпечити найкращі показники з ряду характеристик нових виробів, наприклад, вимагати максимальну швидкодію, мінімальні габарити, вартість тощо під час

збереження всіх інших вимог у заданих межах. Отже, практика висуває вимоги розроблення не лише працездатного виробу, об'єкта, системи, а створення оптимального проекту. Аналогічні міркування справедливі й для інших видів діяльності. Під час організації функціонування підприємства формулюють вимоги з максимізації ефективності його діяльності, надійності роботи обладнання, оптимізації стратегій обслуговування систем, розподілу ресурсів тощо.

У різних сферах практичної діяльності (техніці, економіці, соціальних науках, психології) виникають ситуації, коли потрібно приймати рішення, для яких не вдається повністю врахувати умови, які спричиняють їх. Ухвалення рішення в цьому разі буде відбуватися *в умовах невизначеності*, яка має різну природу.

Одна з найпростіших видів невизначеності – *невизначеність вихідної інформації*, що проявляється в різних аспектах. Насамперед, зазначимо такий аспект, як вплив на систему невідомих факторів. Невизначеність, обумовлена невідомими факторами, також буває різних видів. Найбільш простий вид такого роду невизначеності – *стохастична невизначеність*. Вона має місце в тому разі, коли невідомі фактори являють собою випадкові величини або випадкові функції, статистичні характеристики яких можуть бути визначені на підставі аналізу минулого досвіду функціонування об'єкта системних досліджень.

Наступний вид невизначеності – *невизначеність цілей*. Формулювання мети під час вирішення завдань системного аналізу є однією з ключових процедур, тому що мета є об'єктом, який визначає постановку завдання системних досліджень. Невизначеність мети є наслідком *багатокритеріальності завдань* системного аналізу. Призначення мети, вибір критерію, формалізація мети здебільшого являють собою складну проблему. Завдання з багатьма критеріями характерні для великих технічних, господарських, економічних проектів.

І, нарешті, необхідно зазначити такий вид невизначеності, як *невизначеність, пов'язану з подальшим впливом результатів*

прийнятого рішення на проблемну ситуацію. Справа в тому, що рішення, прийняте зараз і реалізоване в деякій системі, покликане вплинути на функціонування системи. Власне для того його і приймають, оскільки за ідеєю системних аналітиків це рішення повинно вирішити проблемну ситуацію. Однак оскільки рішення приймають для складної системи, то розвиток системи в часі може мати багато стратегій. І звичайно ж на етапі формування рішення і ухвалення управлінського впливу аналітики можуть не уявляти собі повної картини розвитку ситуації. Під час ухвалення рішення існують різні рекомендації прогнозування розвитку системи в часі. Один із таких підходів рекомендує прогнозувати деяку *«середню» динаміку розвитку системи і приймати рішення, виходячи з такої стратегії.* Інший підхід рекомендує під час ухвалення рішення виходити з можливості реалізації *найнесприятливішої ситуації.*

За наступну особливість системного аналізу відзначимо роль *моделей як засіб вивчення систем,* що є об'єктом системних досліджень. Будь-які методи системного аналізу спираються на математичний опис тих чи інших фактів, явищ, процесів. Вживаючи слово «модель», завжди мають на увазі деякий опис, що відображає саме ті особливості досліджуваного процесу, які цікавлять дослідника. Точність, якість опису визначають, передусім, відповідністю моделі тим вимогам, які ставлять до дослідження, відповідністю одержуваних за допомогою моделі результатів ходу процесу, за яким спостерігають. Якщо під час розроблення моделі використовують мову математики, то говорять про математичні моделі. *Побудова математичної моделі є основою всього системного аналізу.* Це центральний етап дослідження або проєктування будь-якої системи. Від якості моделі залежить успішність всього подальшого аналізу.

Однак у системному аналізі поряд з формалізованими процедурами важливе місце займають неформальні, евристичні методи дослідження. Цьому є ряд причин. Перша полягає в тому, що під час побудови моделей систем може мати місце відсутність або недостатність вихідної інформації для

визначення параметрів моделі. У цьому разі здійснюють експертне опитування фахівців із метою усунення невизначеності або, принаймні, її зменшення, тобто досвід і знання фахівців можуть бути використані для призначення вихідних параметрів моделі.

Ще одна причина застосування евристичних методів полягає в тому, що спроби формалізувати процеси, які відбуваються в досліджуваних системах, завжди пов'язані з формулюванням певних обмежень і спрощень. Тут важливо не перейти ту межу, за якою подальше спрощення призведе до втрати суті описуваних явищ. Іншими словами, бажання пристосувати добре вивчений математичний апарат для описання досліджуваних явищ може спотворити їх суть і призвести до невірних рішень. У цій ситуації потрібно використовувати наукову інтуїцію дослідника, його досвід і вміння сформулювати ідею вирішення завдань, тобто застосовувати підсвідоме, внутрішнє обґрунтування алгоритмів побудови моделі та методів їх дослідження, що не піддаються формальному аналізу. *Евристичні методи* пошуку рішень формує людина або група дослідників у процесі їх творчої діяльності. Евристика – це сукупність знань, досвіду, інтелекту, використовуваних для одержання рішень за допомогою неформальних правил. Евристичні методи є корисними і навіть незамінними під час досліджень, що мають нечислову природу або відрізняються складністю, невизначеністю, мінливістю.

Напевно під час розгляду конкретних завдань системного аналізу можна буде виділити ще деякі їх особливості, але зазначені тут особливості є загальними для всіх завдань системних досліджень.

Процедури системного аналізу. Раніше (п. 6.1) були сформульовані три етапи системного аналізу. Ці етапи є основою вирішення будь-якого завдання системних досліджень. Суть їх полягає в тому, що необхідно побудувати модель досліджуваної системи, тобто дати формалізований опис досліджуваного об'єкта, сформулювати критерії вирішення завдання системного аналізу, тобто поставити завдання

дослідження і далі розв'язати поставлені задачі. Зазначені три етапи системного аналізу є збільшеною схемою вирішення завдання. Насправді завдання системного аналізу є досить складними, тому перерахування етапів не може бути самоціллю. Відзначимо також, що методика системного аналізу і принципи управління не є універсальними – кожне дослідження має свої особливості й вимагає від виконавців інтуїції, ініціативи та уяви, щоб правильно визначити цілі проекту та їх досягти. Неодноразово робилися спроби створити досить загальний, універсальний алгоритм системного аналізу. Ретельний аналіз наявних у літературі алгоритмів показує, що вони мають велику ступінь спільності в цілому, а відмінності полягають лише в деталях.

До *загальних основних процедур* системного аналізу належать такі:

- вивчення структури системи, аналіз її компонентів, виявлення взаємозв'язків між окремими елементами;
- збирання даних про функціонування системи, дослідження інформаційних потоків, спостереження та експерименти над аналізованою системою;
- побудова моделей;
- перевірка адекватності моделей, аналіз невизначеності та чутливості;
- дослідження ресурсних можливостей;
- визначення цілей системного аналізу;
- формування критеріїв;
- генерування альтернатив;
- реалізація вибору і ухвалення рішень;
- впровадження результатів аналізу.

6.5. Формулювання проблеми та визначення мети системного аналізу

Формулювання проблеми. Для традиційних наук початковий етап роботи полягає в постановці формального завдання, яке потрібно вирішувати. У дослідженні складної

системи це є проміжним результатом, якому передують тривала робота зі структурування вихідної проблеми. Початковий пункт визначення цілей у системному аналізі пов'язаний із формулюванням проблеми. Тут необхідно відзначити особливість завдань системного аналізу. Необхідність системного аналізу виникає тоді, коли замовник вже сформулював свою проблему, тобто проблема не лише існує, а й вимагає вирішення. Однак системний аналітик повинен усвідомлювати, що сформульована замовником проблема являє собою приблизний робочий варіант. Причини, за якими вихідне формулювання проблеми необхідно вважати за перше наближення, полягають в тому, що система, для якої формулюють мету системного аналізу, не є ізольованою. Вона пов'язана з іншими системами, входить як частина до складу деякої надсистеми, наприклад, автоматизована система управління (АСУ) відділом або цехом на підприємстві є структурною одиницею АСУ всього підприємства. Тому, формулюючи проблему для цієї системи, необхідно враховувати, як вирішення певної проблеми відіб'ється на системах, з якими пов'язана ця система. Неминуче плановані зміни торкнуться і підсистем, що входять до складу даної системи, і надсистеми, що містить дану систему. Отже, до будь-якої реальної проблеми потрібно ставитися не як до окремо взятої, а як до об'єкта з числа взаємозв'язаних проблем.

Під час формулювання системи проблем системний аналітик повинен додержуватися деяких *рекомендацій*. По-перше, як основу повинен враховувати думку замовника. Зазвичай замовником є керівник організації, для якої проводять системний аналіз. Саме він, як було зазначено вище, генерує вихідне формулювання проблеми. Далі системний аналітик, ознайомившись зі сформульованою проблемою, повинен усвідомити завдання, які були поставлені перед керівником, обмеження і обставини, що впливають на поведінку керівника, суперечливі цілі, між якими він намагається знайти компроміс. Системний аналітик повинен вивчити організацію, для якої проводить системний аналіз. Необхідно ретельно ознайомитися

з існуючою ієрархією управління, функціями різних груп, а також попередніми дослідженнями відповідних питань, якщо такі виконувалися. Аналітик повинен утримуватися від висловлення своєї упередженої думки про проблему і від спроб втиснути її в межі своїх колишніх уявлень для того, щоб використовувати бажаний для себе підхід до вирішення поставленої проблеми. Нарешті, аналітик не повинен залишати неперевіреними твердження та зауваження керівника. Як уже зазначалося, проблему, сформульовану керівником, необхідно, по-перше, розширювати до комплексу проблем, узгоджених з над- і підсистемами, і, по-друге, узгоджувати її з усіма зацікавленими особами.

Потрібно також зазначити, що кожна із зацікавлених сторін має своє бачення проблеми, ставлення до неї. Тому під час формулювання комплексу проблем необхідно враховувати, які зміни і чому хоче зробити та чи інша сторона. Крім того, проблему необхідно розглядати всебічно, зокрема і в часовому, історичному плані. Потрібно передбачити, як сформульовані проблеми можуть змінюватися з плином часу або в зв'язку з тим, що дослідження зацікавить керівників іншого рівня. Формулюючи комплекс проблем, системний аналітик повинен знати розгорнуту картину того, хто зацікавлений у тому чи іншому рішенні.

Визначення цілей. Після того, як сформульована проблема, яку потрібно вирішити в ході виконання системного аналізу, переходять до визначення мети. Визначити мету системного аналізу – це означає відповісти на питання, що потрібно зробити для зняття проблеми. Сформулювати мету – означає зазначити напрямок, в якому потрібно рухатися, щоб вирішити існуючу проблему, показати методи, які ведуть від існуючої проблемної ситуації.

Формулюючи мету, потрібно завжди усвідомлювати, що вона має активну роль в управлінні. У визначенні мети повинно бути відображено, що мета – це бажаний результат розвитку системи. Отже, сформульована мета системного аналізу буде визначати весь подальший комплекс робіт. Цілі повинні бути

реалістичними. Вибір реалістичних цілей направить усю діяльність щодо виконання системного аналізу на одержання певного корисного результату. Важливо також зазначити, що уявлення про мету залежить від стадії пізнання об'єкта, і в міру розвитку уявлень про нього мета може бути переформульована. Зміна цілей у часі може відбуватися не лише за формою, через краще розуміння суті явищ, що відбуваються в досліджуваній системі, а й за змістом, унаслідок зміни об'єктивних умов і суб'єктивних установок, що впливають на вибір цілей. Терміни зміни уявлень про цілі, старіння цілей різні та залежать від рівня ієрархії об'єкта, що розглядають. Цілі більш високих рівнів довговічніші. Динамічність цілей повинна бути врахована в системному аналізі.

Під час формулювання мети потрібно враховувати, що на мету впливають як зовнішні щодо системи фактори, так і внутрішні. Водночас внутрішні фактори є такими, що об'єктивно впливають на процес формування мети, як і зовнішні.

Далі варто зазначити, що навіть на самому верхньому рівні ієрархії системи є велика кількість цілей. Аналізуючи проблему, необхідно враховувати цілі всіх зацікавлених сторін. Серед багатьох цілей бажано спробувати знайти або сформулювати глобальну мету. Якщо цього зробити не вдається, потрібно проранжувати цілі в порядку їх переваги для зняття проблеми в аналізованій системі.

Дослідження цілей зацікавлених у проблемі осіб повинно передбачати можливість їх уточнення, розширення або навіть заміни. Ця обставина є основною причиною інтерактивності системного аналізу.

На вибір цілей суб'єкта вирішальний вплив здійснює та система цінностей, якої він додержується, тому під час формування цілей необхідним етапом робіт є виявлення системи цінностей, якої додержується особа, яка приймає рішення. Так, наприклад, розрізняють технократичну і гуманістичну системи цінностей. Згідно з першою системою, природу проголошують як джерело невичерпних ресурсів, людину – за царя природи.

Всім відома теза: «Ми не можемо чекати милостей від природи. Взяти їх у неї наше завдання». Гуманістична система цінностей свідчить про те, що природні ресурси обмежені, що людина повинна жити в гармонії з природою. Практика розвитку людського суспільства показує, що додержання технократичної системі цінностей призводить до згубних наслідків. З іншого боку, повна відмова від технократичних цінностей також не має виправдання. Не потрібно протиставляти ці системи, а необхідно розумно доповнювати їх і формулювати цілі розвитку системи з урахуванням обох систем цінностей.

6.6. Генерування альтернатив

Наступним етапом системного аналізу є створення множини можливих способів досягнення сформульованої мети. Іншими словами, на цьому етапі необхідно згенерувати множину альтернатив, з якої потім буде вибраний найкращий метод розвитку системи. Цей етап системного аналізу є дуже важливим і важким. Важливість генерування альтернатив у тому, що кінцева мета системного аналізу полягає у виборі найкращої альтернативи на заданій множині і в обґрунтуванні цього вибору. Якщо в сформовану множину альтернатив не потрапила найкраща, то ніякі найдосконаліші методи аналізу не допоможуть її знайти. Складнощі цього етапу обумовлені необхідністю створення досить повної множини альтернатив, що містить в собі, на перший погляд, навіть такі, які неможливо реалізувати.

Генерування альтернатив, тобто ідей про можливі способи досягнення мети, є справжнім творчим процесом. Існує ряд рекомендацій про можливі підходи до виконання цієї процедури. Необхідно згенерувати якомога більшу кількість альтернатив. Є такі *способи генерації альтернатив*:

- а) пошук альтернатив в патентній і журнальній літературі;
- б) залучення декількох експертів, які мають різну підготовку та досвід;

в) збільшення кількості альтернатив завдяки їх комбінації, утворення проміжних варіантів між запропонованими раніше;

г) модифікація наявної альтернативи, тобто формування альтернатив, які лише частково відрізняються від відомої альтернативи;

д) розгляд альтернатив, протилежних запропонованим, зокрема і «нульової» альтернативи (не робити нічого, тобто розглянути наслідки розвитку подій без втручання системних аналітиків);

е) інтерв'ювання зацікавлених осіб і ширші анкетні опитування;

ж) розгляд навіть тих альтернатив, які на перший погляд здаються надуманими;

и) генерування альтернатив, розрахованих на різні інтервали часу (довгострокові, короткострокові, екстрені).

Під час виконання роботи з генерування альтернатив важливо створити сприятливі умови для співробітників, що виконують даний вид діяльності. Велике значення мають психологічні фактори, що впливають на інтенсивність творчої діяльності, тому необхідно намагатися створити сприятливий клімат на робочому місці співробітників.

Існує ще одна небезпека, що виникає при виконанні робіт з формування множини альтернатив, про яку необхідно сказати. Якщо спеціально намагатися на початковій стадії одержати якомога більше альтернатив, то для деяких проблем їх кількість може досягти багатьох десятків. Для докладного вивчення кожної з них будуть потрібні неприйнятно великі витрати часу та коштів. Тому в цьому разі необхідно провести попередній аналіз альтернатив і намагатися звузити множину альтернатив на ранніх етапах аналізу. На цьому етапі аналізу застосовують якісні методи порівняння альтернатив, не вдаючись до більш точних кількісних методів. Тим самим здійснюють грубе відсіювання.

6.7. Впровадження результатів аналізу

Системний аналіз є прикладною наукою, його кінцева мета – зміна існуючої ситуації відповідно до поставлених цілей. Кінцеве судження про правильність і корисність системного аналізу можна зробити лише на підставі результатів його практичного застосування.

Кінцевий результат буде залежати не лише від того, наскільки досконалі та теоретично обґрунтовані методи застосовані під час проведення аналізу, а і від того, наскільки грамотно і якісно реалізовані одержані рекомендації.

Нині питанням впровадження результатів системного аналізу в практику приділяється підвищена увага. Варто зазначити, що практика системних досліджень і практика впровадження їх результатів істотно розрізняються для систем різних типів. Відповідно до класифікації системи поділяють на три типи: природні, штучні та соціотехнічні. У системах першого типу зв'язки утворені та діють природним чином. Прикладами таких систем є екологічні, фізичні, хімічні, біологічні тощо системи. У системах другого типу зв'язки утворені внаслідок людської діяльності. Прикладами є технічні системи. У системах третього типу, крім природних зв'язків, важливе значення мають міжособистісні зв'язки. Такі зв'язки обумовлені не природними властивостями об'єктів, а культурними традиціями, вихованням суб'єктів системи, їх характером та іншими особливостями.

Системний аналіз застосовують для дослідження систем усіх трьох типів. У кожній з них є свої особливості, що потребують урахування під час організації робіт із впровадження результатів. Найбільша частка слабоструктурованих проблем міститься в системах третього типу. Отже, складніша практика впровадження результатів системних досліджень – у соціотехнічних системах.

Під час впровадження результатів системного аналізу необхідно мати на увазі таку обставину: роботу здійснюють на клієнта (замовника), що має владу, достатню для зміни системи

тими способами, які будуть визначені внаслідок системного аналізу. У роботі повинні брати безпосередню участь усі зацікавлені сторони. Зацікавлені сторони – це ті, хто відповідає за вирішення проблеми, і ті, кого ця проблема безпосередньо стосується. Внаслідок впровадження системних досліджень необхідно забезпечити поліпшення роботи організації замовника з точки зору хоча б однієї із зацікавлених сторін; водночас не допустити погіршення цієї роботи з точки зору всіх інших учасників проблемної ситуації.

Говорячи про впровадження результатів системного аналізу, важливо відзначити, що в реальному житті ситуація, коли спочатку виконують дослідження, а потім їх результати впроваджують у практику, трапляється вкрай рідко, лише в тому разі, коли мова йде про прості системи. Під час дослідження соціотехнічних систем вони змінюються з плином часу як самі собою, так і під впливом досліджень. У процесі виконання системного аналізу змінюються стан проблемної ситуації, цілі системи, персональний і кількісний склад учасників, співвідношення між зацікавленими сторонами. Крім того, варто зауважити, що реалізація прийнятих рішень впливає на всі фактори функціонування системи. Етапи дослідження та впровадження в такого типу системах фактично співпадають, тобто йде інтерактивний процес. Виконані дослідження впливають на життєдіяльність системи, і це видозмінює проблемну ситуацію, ставить нове завдання досліджень. Нова проблемна ситуація стимулює подальше проведення системного аналізу тощо. Отже, проблема поступово вирішується сама в ході активного дослідження.

ТЕМА 7. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

7.1. Поняття моделі та моделювання. Історія становлення поняття моделі

Під *моделюванням* розуміють процес дослідження реальної системи, що означає створення моделі, вивчення її властивостей і перенесення одержаних відомостей на модельовану систему.

Спільними *функціями моделювання* є описання, пояснення, прогнозування поведінки реальної системи.

Типовими *цілями моделювання* можуть бути пошук оптимальних або близьких до оптимальних рішень, оцінювання ефективності рішень, визначення властивостей системи (чутливість до зміни значень характеристик тощо), встановлення взаємозв'язків між характеристиками системи, перенесення інформації в часі.

Модель – це об'єкт, який має схожість у деяких відношеннях із прототипом і є засобом опису і (або) пояснення, і (або) прогнозування поведінки прототипу.

Найважливішою якістю моделі є те, що вона дає спрощений образ, що відображає не всі властивості прототипу, а лише істотні для дослідження.

Історія становлення поняття моделі. Спочатку моделлю називали будь-який допоміжний засіб, об'єкт, який певній ситуації заміняв інший об'єкт. Принципово не існує моделі, яка була б повним еквівалентом оригіналу. Будь-яка модель відображає лише певні сторони оригіналу. Тому з метою одержання більш повних знань про оригінал доводиться використовувати сукупність моделей. Складність моделювання як процесу полягає у відповідному виборі такої сукупності моделей, які замінюють реальний пристрій або об'єкт у необхідних відношеннях.

Наприклад, систему диференціальних рівнянь, що описує процеси перемикання в елементах цифрового пристрою, можна використовувати для оцінювання їх швидкодії (часу перемикання), але недоцільно застосовувати для побудови тестів

або часових діаграм роботи пристрою. Очевидно, в останніх випадках необхідно скористатися будь-якими іншими моделями, наприклад, логічними рівняннями. Водночас далеко не відразу була зрозуміла універсальність законів природи, загальність моделювання, тобто не просто можливість, а й необхідність наводити будь-які наші знання у вигляді моделей.

Наприклад, *стародавні філософи* вважали неможливим моделювання природних процесів, оскільки, за їхніми уявленнями, природні та штучні процеси підпорядковуються різним закономірностям. Вони вважали, що відобразити природу можна лише за допомогою логіки, методів міркувань, суперечок, тобто за сучасною термінологією, за допомогою *мовних (deskриптивних) моделей*.

Через декілька століть девізом *англійського Королівського наукового товариства* було гасло «*Нічого словами!*», яке було найкоротшим наведенням принципів природознавства: визнавалися лише висновки, підкріплені експериментально або математичними викладками. В англійській мові до нашого часу в поняття «наука» не входять галузі знань, яким в українській мові відповідає термін «гуманітарні науки», – вони належать до категорії «мистецтв». Унаслідок дуже довго поняття «модель» застосовували лише до матеріальних об'єктів спеціального типу, наприклад, манекену (моделі людської фігури), гідродинамічної зменшеної моделі греблі, моделі суден і літаків, опудала (моделі тварин) тощо.

Потім були усвідомлені модельні властивості *креслень, рисунків, карт* – реальних об'єктів штучного походження, які втілюють абстракцію досить високого рівня.

Наступний крок полягав у визнанні того, що моделями можуть бути не лише реальні об'єкти, а й *абстрактні, ідеальні* побудови. Типовим прикладом абстрактної моделі є *математична модель*. Унаслідок діяльності математиків, логіків і філософів, які досліджували підґрунтя математики, була створена теорія моделей. У ній модель визначена як результат відображення однієї абстрактної математичної структури на іншу, також абстрактну, або як результат інтерпретації першої

моделі в термінах і образах другої моделі.

У ХХ ст. поняття моделі стало більш загальним, охопивши *і реальні, й ідеальні моделі*. Водночас поняття абстрактної моделі вийшло за межі математичних моделей, почало відноситись до будь-яких знань і уявлень про світ.

Спочатку в сфері наукових дисциплін інформаційного, кібернетичного, системного спрямування, а потім і в інших галузях науки модель почала усвідомлюватися як щось універсальне, хоча і реалізоване різними способами. *Модель є способом існування знань*.

Наближеність моделі. Характерною рисою моделі є наближеність відображення дійсності. Величину, міру, ступінь прийнятності відмінності можна ввести лише співставивши модель із метою моделювання. Наприклад, точність звичайного годинника є достатньою для побутових потреб, і абсолютно недостатньою під час реєстрації спортивних рекордів або для цілей астрономії.

Адекватність моделі. Модель, за допомогою якої успішно досягнена поставлена мета, називають адекватною цієї мети. Підкреслимо, що таке визначення в повному обсязі відповідає вимогам повноти, точності і правильності (істинності): адекватність означає, що ці вимоги виконані не взагалі, а лише тією чи іншою мірою, яка достатня для досягнення мети. Наприклад, геоцентрична модель Птолемея була неправильною, але адекватною в сенсі точності описання руху планет.

Мета як модель. З попереднього пояснення випливає, що модель є не просто образом-замінником оригіналу, не взагалі будь-яким відображенням, а відображенням цільовим.

Щоб підкреслити це, уявімо, які моделі колоди використовують у своїй діяльності різні члени туристичної групи, які прийшли до місця розташування. Одному доручено обладнати табір, і він прикидає, чи використовувати цю колоду для столу або для сидіння. Інший турист відповідає за багаття, а для дров від колоди потрібні не геометричні, а зовсім інші якості. Третього цікавить вік дерева, і він обстежує спіл дерева. Художник шукає у колоди сук із хитромудрим вигином.

Коротше кажучи, модель відображає не сам по собі об'єкт-оригінал, а те, що нас у ньому цікавить, тобто те, що відповідає поставленій меті. З того, що модель є цільовим відображенням, впливає множинність моделей одного і того самого об'єкта: для різних цілей зазвичай потрібні різні моделі.

У широкому сенсі під *моделюванням* розуміють процес адекватного відображення найбільш істотних сторін досліджуваного об'єкта або явища з точністю, яка необхідна для практичних потреб. У загальному випадку моделюванням можна назвати також особливу форму опосередкування, основою якого є формалізований підхід до дослідження складної системи.

Теоретичною базою моделювання є *теорія подібності*. Подібністю називають взаємно однозначну відповідність між двома об'єктами, за якої є відомими функції переходу від параметрів одного об'єкта до параметрів іншого, а математичні описи цих об'єктів можуть бути перетворені в тотожні описи. Теорія подібності дає можливість встановити наявність подібності або дає можливість розробити спосіб її одержання.

Отже, *моделювання* – це процес наведення об'єкта дослідження адекватною (подібною) йому моделлю і проведення експериментів з моделлю для одержання інформації про об'єкт дослідження. Під час моделювання модель є і засобом, і об'єктом дослідження, яка перебуває у відношенні подібності до модельованого об'єкта. Іншими словами, *модель* – це фізична або інформаційна система, що являє собою об'єкт дослідження адекватно цілям дослідження.

7.2. Призначення моделей

Моделювання – невід'ємний етап будь-якої цілеспрямованої діяльності. Будь-який процес праці є діяльністю, спрямованою на досягнення певної мети. Цільовий характер має будь-яка діяльність людини, вона завжди доцільна, цілеспрямована.

Найважливішим організувальним елементом діяльності є

мета – образ бажаного майбутнього, тобто модель стану, на реалізацію якого спрямована діяльність.

Отже роль моделювання цим не обмежується. Системність діяльності проявляється в тому, що вона здійснюється за певним планом, або, як частіше говорять, за алгоритмом. Тобто *алгоритм* є образом майбутньої діяльності, її *моделлю*. В алгоритмі моделюють усі можливі ситуації залежно від різних проміжних значень параметрів, але можливі кроки діяльності не виконують реально, а перевіряють на моделі.

Моделювання виникає в таких сферах людської діяльності, як пізнання, спілкування, практична діяльність.

Людину (суб'єкт моделювання) можуть цікавити такі аспекти моделювання: *зовнішній вигляд, структура, поведінка* об'єкта моделювання. Цілі і завдання моделювання впливають на вибір одного з цих трьох аспектів. Кожен аспект моделювання розкривається через сукупність властивостей.

Так, описання *зовнішнього вигляду* об'єкта зводиться до перерахування його ознак. У мові ці ознаки часто виражаються *прикметниками*: красивий, жовтий, круглий, довгий тощо. Зазвичай моделювання зовнішнього вигляду об'єкта необхідно для ідентифікації (розпізнавання) об'єкта (створення фоторобота злочинця), довготривалого зберігання (фотографія, портрет).

Описання *структури* зазвичай зводиться до перерахування складових елементів об'єкта і до зазначення зв'язків між ними. У мові ці елементи і зв'язки часто виражаються *іменниками*: електрон, протон, нейтрон, сила тяжіння, енергетичний рівень (під час описання атома). Моделювання структури об'єкта необхідно для її наочного уявлення, вивчення властивостей об'єкта, виявлення найбільш важливих зв'язків, вивчення стабільності об'єкта тощо.

Поведінка об'єкта характеризується зміною його зовнішнього вигляду і структури з плином часу внаслідок взаємодії з іншими об'єктами. У мові зазвичай вона виражається *дієсловами*: зберігається, розвивається, збільшується, перебудовується, заломлюється, перетворюється тощо. Моделювання поведінки необхідно для прогнозування,

встановлення зв'язків з іншими об'єктами, управління, конструювання технічних пристроїв тощо.

7.3. Рівні моделювання

Останнім часом під час аналізу та синтезу складних систем одержав розвиток системний підхід, який відрізняється від класичного (або індуктивного) підходу. Під час *індуктивного підходу* систему розглядають з позицій переходу від часткового до загального, а синтезують (конструюють) систему методом злиття її елементів, які розроблені окремо. *Системний підхід* передбачає послідовний перехід від загального до конкретного, коли в основі розгляду є мета, причому досліджуваний об'єкт виділяється з довкілля.

Системний підхід дає можливість вирішити проблему побудови складної системи з урахуванням усіх факторів і можливостей, пропорційних їх важливості, на всіх етапах дослідження системи і створення її моделі. Системний підхід означає, що кожна система є інтегрованим цілим навіть тоді, коли вона складається з окремих роз'єднаних підсистем. Отже, в основі системного підходу міститься розгляд системи за інтегроване ціле, причому цей розгляд під час розроблення починається з головного: формулювання мети функціонування.

Створення моделі системи належить до системних завдань, під час вирішення яких синтезують рішення на базі величезної кількості вихідних даних. Використання системного підходу в цих умовах дає можливість не лише побудувати модель реального об'єкта, а і на базі цієї моделі вибрати необхідну кількість керуючої інформації в реальній системі, оцінити показники її функціонування і, тим самим, на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови й оптимальний режим функціонування реальної системи.

Відповідно до системного підходу в процесі автоматизованого проектування складних систем моделювання їх елементів і функціональних вузлів виконують у декілька етапів, на різних рівнях, що відповідають певним рівням

проектування.

Методика моделювання безпосередньо залежить від рівня моделювання, тобто від ступеня деталізації опису об'єкта.

Кожному рівню моделювання ставиться у відповідність певне поняття системи, елемента системи, закону функціонування елементів системи в цілому і зовнішніх впливів.

Залежно від ступеня деталізації опису складних систем і їх елементів можна виділити *три основні рівні моделювання*.

1. *Рівень структурного або імітаційного моделювання* складних систем із використанням їх алгоритмічних моделей (алгоритмів, що моделюють) і використанням спеціалізованих мов моделювання, теорій множин, алгоритмів, формальних граматики, графів, масового обслуговування, статистичного моделювання. На структурному рівні моделюють склад елементів об'єкта на нижчому рівні структурування. До структурних належать бінарні відношення ієрархічної підпорядкованості, відношення порядку, суміжності, спряженості, функціонального зв'язку.

2. *Рівень логічного моделювання* функціональних схем елементів і вузлів складних систем, моделі яких наводять у вигляді рівнянь безпосередніх зв'язків (логічних рівнянь) і будують із застосуванням апарату двозначної або багатозначної алгебри логіки. На логічному рівні моделювання кожній множині, булевій матриці бінарних відношень або структурному графу відповідають набори логічних відношень між цими елементами, наведеними у вигляді логічних змінних.

3. *Рівень кількісного моделювання* (аналізу) принципів схем елементів складних систем, моделі яких наводять у вигляді систем нелінійних алгебраїчних або інтегрально-диференціальних рівнянь та досліджують із застосуванням методів функціонального аналізу, теорії диференціальних рівнянь, математичної статистики. Під час кількісного моделювання кожному елементу множини булевої матриці або логічної змінної ставиться у відповідність алгебраїчна або інша кількісна змінна, а логічні відношення переходять у кількісні відношення, наприклад, рівняння, нерівності.

Сукупність моделей об'єкта на структурному, логічному й кількісному рівнях моделювання являє собою ієрархічну систему, що розкриває взаємозв'язок різних сторін опису об'єкта і забезпечує системну зв'язність його елементів і властивостей на всіх стадіях процесу проектування. Під час переходу на більш високий рівень абстрагування здійснюють згортку даних про об'єкт моделювання, під час переходу до більш детального рівню опису – розгортку цих даних.

7.4. Види моделей

Велика кількість моделей одного об'єкта обумовлена зокрема тим, що для різних цілей потрібно будувати (використовувати) різні моделі.

Однією з підстав класифікації моделей може бути співвідношення типів моделей із типами цілей. Наприклад, моделі можна поділити на пізнавальні та прагматичні.

Пізнавальні та прагматичні моделі. Поділ моделей на пізнавальні та прагматичні відповідає поділу цілей на теоретичні і практичні. Пізнавальні моделі є формою організації та наведення знань, засобом з'єднання нових знань із наявними. Використання прагматичних моделей полягає в тому, щоб під час виявлення розбіжностей між моделлю і реальністю спрямувати зусилля на змінення реальності так, щоб наблизити реальність до моделі. Прикладами прагматичних моделей є плани, програми, статuti, кодекси законів тощо.

Статичні та динамічні моделі. Моделі бувають статичними та динамічними. Для одних цілей може знадобитися модель конкретного стану об'єкта, свого роду моментальна фотографія об'єкта. Такі моделі називають статичними. Прикладом статичної моделі є структурні моделі систем. У тому разі, коли наші цілі пов'язані не з одним станом, а з різницею між станами, виникає необхідність у відображенні процесу, зміни стану. Такі моделі називають динамічними. Прикладом їх є функціональні моделі систем.

Розрізняють *фізичні та абстрактні моделі*. Фізичні моделі

утворюються з сукупності матеріальних об'єктів. Для їх побудови використовують різні фізичні властивості об'єктів, причому природа застосовуваних в моделі матеріальних елементів не обов'язково збігається з досліджуваним об'єктом. Прикладом фізичної моделі є макет.

Щоб деяка матеріальна конструкція могла бути відображенням, тобто заміняла в деякому відношенні оригінал, між оригіналом і моделлю повинно бути встановлено відношення схожості, подібності. Існують різні *способи встановлення подібності*. Насамперед, це – *пряма подібність*, яку встановлюють у результаті фізичної взаємодії в процесі створення моделі. Прикладами прямої подібності можуть бути фотографії, масштабовані моделі літаків, кораблів, споруд, макети будівель, протези, викрійки тощо.

Другий тип подібності називають *непрямою*. Непряма подібність між оригіналом і моделлю об'єктивно існує в природі, проявляється у вигляді збігу або достатньої близькості їх абстрактних моделей і використовується в практиці реального моделювання. Найбільш відомим прикладом цього є електромеханічна аналогія. Виявилось, що деякі закономірності електричних і механічних процесів описуються однаковими рівняннями. Годинники – аналог часу; піддослідні тварини у медиків – аналоги людського організму; автопілот – аналог льотчика; електричний струм у ланцюгах може моделювати транспортні потоки інформації в мережах зв'язку, рух води у міській водопровідній мережі тощо.

Третій тип подібності називають *умовною*. Особливий клас реальних моделей утворюється, коли подібність встановлюють у результаті угоди. Прикладами можуть бути гроші (модель вартості), посвідчення особи (офіційна модель власника), робочі креслення (модель майбутньої продукції), карти (моделі місцевості) тощо.

Складні системи характеризуються виконуваними процесами (функціями), структурою та поведінкою в часі. Для адекватного моделювання цих аспектів в автоматизованих системах розрізняють функціональні, інформаційні та

поведінкові моделі.

Функціональна модель системи описує сукупність виконуваних системою функцій, характеризує морфологію системи (її будову) – склад функціональних підсистем, їх взаємозв'язок.

Інформаційна модель відображає відношення між елементами системи у вигляді структур даних (склад і взаємозв'язки).

Поведінкова (подієва) модель описує інформаційні процеси (динаміку функціонування). В ній фігурують такі категорії, як стан системи, подія, перехід з одного стану в інший, умови переходу, послідовність подій.

Абстрактні моделі є ідеальними конструкціями, побудованими засобами мислення, свідомості. Це – мовні моделі, аж до математичних, які мають абсолютну точність, якщо є достатні знання.

Інформаційна (абстрактна) модель – це опис об'єкта досліджень деякою мовою. Абстрактність моделі проявляється в тому, що її компонентами є поняття, а не фізичні елементи (наприклад, словесні описи, креслення, схеми, графіки, таблиці, алгоритми або програми, математичні описи).

Інформаційні моделі описують поведінку об'єкта-оригінала, але не копіюють його. Інформаційна модель – це цілеспрямовано відібрана інформація про об'єкт, яка відображає найбільш істотні для дослідника властивості цього об'єкта.

Серед інформаційних (абстрактних) моделей розрізняють такі моделі:

- дескриптивні, наочні та змішані;
- гносеологічні, інфологічні, кібернетичні, сенсуальні (чуттєві), концептуальні, математичні.

Гносеологічні моделі спрямовані на вивчення об'єктивних законів природи (наприклад, моделі сонячної системи, біосфери, світового океану, катастрофічних явищ природи).

Інфологічна модель (вужке тлумачення) – параметричне наведення процесу циркуляції інформації, яка підлягає автоматизованому обробленню.

Сенсуальні моделі – моделі деяких почуттів, емоцій або моделі, що впливають на почуття людини (наприклад, музика, живопис, поезія).

Концептуальна модель – це абстрактна модель, що виявляє причинно-наслідкові зв'язки, властиві досліджуваному об'єкту і суттєві в рамках певного дослідження. Основне призначення концептуальної моделі – виявлення набору причинно-наслідкових зв'язків, урахування яких необхідне для одержання потрібних результатів. Один і той самий об'єкт може бути наведений різними концептуальними моделями, які мають певну будову залежно від мети дослідження. Так, одна концептуальна модель може відображати часові аспекти функціонування системи, інша – вплив відмов на працездатність системи.

Математична модель – абстрактна модель, що наведена мовою математичних відношень. Вона має форму функціональної залежності між параметрами, які враховує відповідна концептуальна модель. Ці залежності конкретизують причинно-наслідкові зв'язки, виявлені в концептуальній моделі, і характеризують їх кількісно.

Модель «чорного ящика». Найбільш простою моделлю є модель «чорного ящика» (рис. 7.1). Ідея використання «чорного ящика» виникла від недостатності знань про внутрішню будову (склад) самої системи, тому її зображують у вигляді непрозорого чорного ящика, який має такі властивості: цілісність і відособленість його від довкілля.

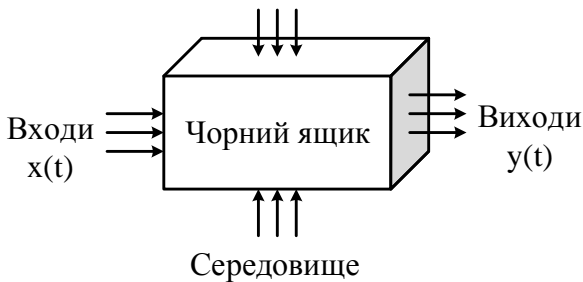


Рисунок 7.1 – Схема моделі «чорного ящика»

Друга властивість означає те, що ящик відокремлений, тобто виділений із середовища, але не є повністю ізольованим від нього, тобто ящик (система) пов'язаний із середовищем зв'язками. Як середовище впливає на нього, так і він впливає на середовище.

Поряд з очевидністю простоти моделі «чорного ящика» вона (простота) оманлива. Під час описання будь-якої реальної системи дуже часто стикаються зі складнощами у визначенні всіх входів і виходів цієї системи. Використання моделі «чорного ящика» дає ті результати, які визначає мета системи. Неврахування деяких вхідних або вихідних параметрів системи призводить часто до поганого досягнення поставленої мети.

Модель складу системи. Очевидно, що модель «чорного ящика» не розглядає внутрішню будову системи, тому для розвитку моделювання і деталізації опису складу системи потрібне ускладнення моделі, тобто створення моделі складу системи (рис. 7.2). Така модель описує основні складові частини системи, розглядає елементи системи за неподільні частини і підсистеми, тобто модель складу ілюструє ієрархію складових частин системи.

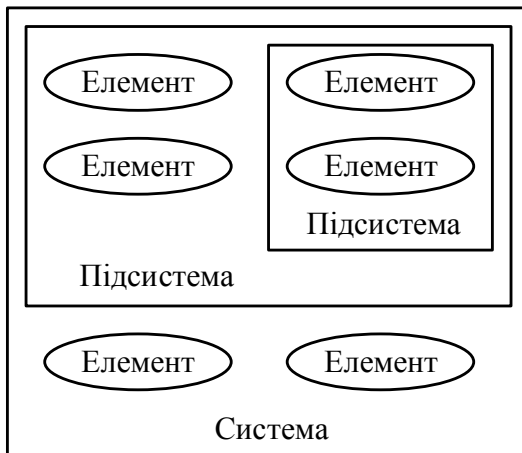


Рисунок 7.2 – Схема моделі складу систем

На перший погляд, ця модель здається простою, але якщо дати завдання експертам визначити склад однієї і тієї самої системи, то у кожного експерта буде своя модель, що відрізняється від моделей інших експертів. Це можна пояснити тим, що, по-перше, поняття елемента у всіх буде різним. По-друге, оскільки модель складу є діловою, то для різних цілей потрібні різні складові частини цієї системи. По-третє, розподіл усієї системи на підсистеми є відносним або умовним, оскільки межі підсистем, кількість підсистем та їх склад будуть різними, а зотже, і моделі будуть різними.

Модель структури системи. Для досягнення багатьох практичних цілей недостатньо моделей «чорного ящика» або моделі складу. Необхідно ще правильно з'єднати всі елементи між собою, тобто встановити або визначити відношення між елементами. Сукупність необхідних і достатніх для досягнення цілей відношень між елементами називають *структурою системи*.

Нескінченність природи будь-якої системи породжує неймовірну кількість таких відношень. Проте під час побудови системи розглядають деяку сукупність важливих відношень.

У відношенні бере участь не менше двох об'єктів, а властивістю називають деякий атрибут лише одного об'єкта, тому властивості є окремим випадком відношень або наслідком відношень між об'єктами. Звідси з'явилося друге, більш глибоке, визначення системи – це сукупність взаємозв'язаних елементів, яка відособлена від середовища і взаємодіє з ним як ціле. У цьому разі модель охоплює «чорний ящик», модель складу і модель структури. Разом вони утворюють ще одну модель, яку називають *структурною схемою системи* («білим ящиком», «конструкцією системи»). У структурній схемі зазначаються всі елементи системи, всі зв'язки між елементами всередині системи і зв'язки деяких елементів з довідками (входи і виходи системи).

Часто структурну схему описують за допомогою математичної моделі. Проте в останній час системи описують за допомогою схеми, що складається з елементів і зв'язків між

ними. Таку схему називають *графом* (рис. 7.3).

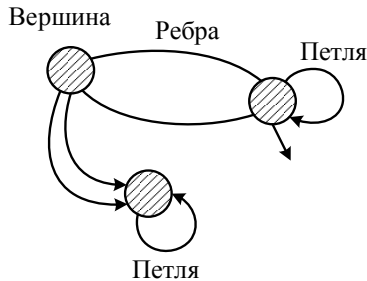


Рисунок 7.3 – Схема елементів графів

У графах елементи називають вершинами, а зв'язки між ними – ребрами. Вершини позначають колом, а зв'язки – у вигляді ліній. Якщо не зазначені напрямки зв'язку, то такий граф називають неорієнтованим. Вершини можуть бути з'єднані між собою будь-якою кількістю ребер (ліній). Якщо вершина зв'язана сама з собою, то таке ребро називають петлею. Якщо зв'язки між вершинами мають розмірну природу, то їх позначають різними лініями з різними вагами, а графи називають зваженими.

Теорія графів має численні додатки. Особливе місце в теорії систем займають (системи) структури зі зворотними зв'язками, які відповідають кільцевих шляхах в орієнтованих графах.

Часто структура інформації, що містить граф, для ряду досліджень є недостатньою, тому методи теорії графів є допоміжними, а головними – функціональні зв'язки між входами і виходами або внутрішніми зв'язками системи (рис. 7.4).

7.5. Динамічні моделі

Розглянуті вище моделі відображають систему в певний момент часу і можуть бути названі статичними моделями, що підкреслює їх нерухомий, наче застиглий характер. Наступний

крок у дослідженні систем полягає в тому, щоб зрозуміти і описати, як система «працює», що відбувається з нею самою і з довкіллям у ході реалізації поставленої мети. Очевидно, і підхід до опису та ступінь детальності опису процесів, що відбуваються, можуть бути різними. Проте загальним при цьому є те, що моделі повинні відображати поведінку системи, описувати те, які зміни відбувається в системі з часом, послідовність деяких етапів, операцій, дій, причинно-наслідкові зв'язки.

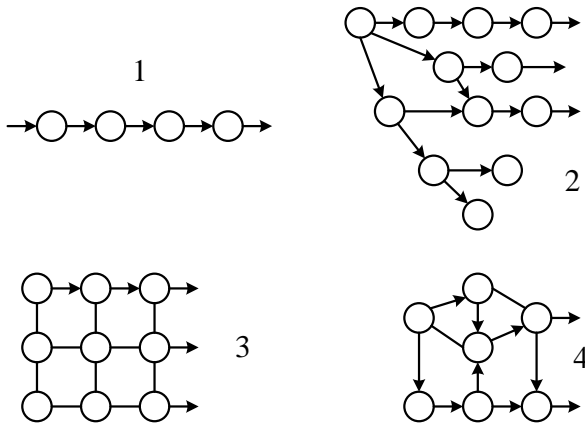


Рисунок 7.4 – Структури графів:

1 – лінійна; 2 – деревоподібна; 3 – матрична; 4 – мережева

У реальності системи, а саме їх структура і взаємозв'язки змінюються в часі, і такі системи називають *динамічними*. Тому завжди для описання реальних систем потрібно створювати моделі, які описують динаміку зміни системи, і використовувати функціональні моделі, що відображають вид зв'язку та його зміну в часі. Модель, що відображає будь-які зміни в часі, називають *динамічною моделлю* систем. Така модель є найбільш адекватною моделлю опису будь-яких об'єктів.

Усі динамічні системи бувають лінійними та нелінійними.

Нелінійні – залежні від багатьох параметрів.

Для різних об'єктів і систем розроблена велика кількість

динамічних моделей, що описують процеси з різним ступенем детальності: від самого загального поняття динаміки, руху взагалі до формальних математичних моделей конкретних процесів типу рівняння руху в механіці або хвильових рівнянь у теорії поля. Розвиток моделі відбувається приблизно в такій послідовності: від «чорного ящика» до «білого ящика».

Функціонування та розвиток. Уже на етапі «чорного ящика» розрізняють два типи динаміки системи: її функціонування і розвиток. Під *функціонуванням* розуміють процеси, які відбуваються в системі (і в довкіллі) та стабільно реалізують фіксовану мету (функціонує, наприклад, годинник, міський транспорт, школа, телевізор тощо). *Розвитком* називають те, що відбувається з системою під час зміни її цілей. Характерною рисою розвитку є той факт, що існуюча структура перестає відповідати новій меті і для забезпечення нової функції доводиться змінювати структуру, а іноді й склад системи, перебудовувати всю систему.

Не варто вважати, що система завжди перебуває або в фазі розвитку, або в стані функціонування. Під час реконструкції одного цеху інші функціонують, завод у цілому розвивається. Навіть під час докорінної перебудови системи деякі елементи і навіть підсистеми старої структури можуть продовжувати функціонувати як і раніше.

Наступний крок у створенні динамічних моделей полягає в тому, щоб конкретніше відобразити зміни, що відбуваються. Це означає, що потрібно розрізняти частини, етапи процесу, що відбувається, розглядати їх взаємозв'язки. Іншими словами, типи динамічних моделей схожі на статичні моделі, лише елементи цих моделей мають часовий характер. Наприклад, у динамічному варіанті «чорного ящика» зазначають початковий («вхід») і кінцевий («вихід») стани системи. Моделі складу відповідає перелік етапів у деякій впорядкованій послідовності дій. Динамічний варіант «білого ящика» – це докладний опис того, що відбувається, або планового процесу.

Наприклад, на виробництві широко використовують мережеві графіки – графи, які мають мережеву структуру. Їх

вершинами є виробничі операції, а ребра показують, які операції не можуть розпочатися, поки не закінчаться попередні операції. Тут деяким чином (заданням довжин або ваг ребр) відображують тривалість виконання операцій, що і дає можливість знаходити на графі «критичні» методи, тобто послідовність операцій, від яких, в основному, залежить ритмічність усієї роботи.

Подібні типи моделей простежують і за більш глибокої формалізації динамічних моделей. За математичного моделювання деякого процесу його конкретну реалізацію описують у вигляді відповідності між елементами множини X можливих «значень» x і елементів впорядкованої множини T «моментів часу» t , тобто у вигляді відображення $T \rightarrow X$. За допомогою цих понять можна будувати математичні моделі.

Беручи вихід $y(t)$ системи як її реакцію на керовані $u(t)$ і некеровані $v(t)$ входи $x(t) = \{u(t), v(t)\}$ (рис. 7.5), можна модель «чорного ящика» навести як сукупність двох процесів: $x(t)$ та $y(t)$

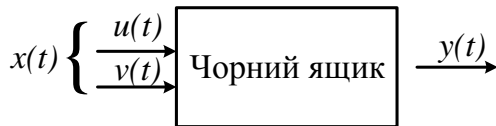


Рисунок 7.5 – Динамічна модель «чорного ящика»

Якщо вихід $y(t)$ вважати результатом деякого перетворення Φ процесу $x(t)$, тобто $y(t) = \Phi(x(t))$, то модель «чорного ящика» припускає, що це перетворення невідомо. У тому разі, коли ми маємо справу з «білим ящиком», відповідність між входом і виходом можна описати у той чи інший спосіб. Який саме спосіб – залежить від того, що нам відомо, і в якій формі можна використовувати ці знання.

Наприклад, іноді буває відомо, що система миттєво

перетворює вхід у вихід, тобто $y(t)$ є функцією лише $x(t)$ в однаковий момент часу. Залишається задати або знайти цю функцію. На практиці найчастіше відома лише безінерційність системи і потрібно, спостерігаючи входи та виходи, відновити невідому функцію $y = \Phi(x)$. По суті, це завдання про перехід моделі «чорного ящика» до моделі «білого ящика» за спостереженнями входів і виходів за наявності інформації про безінерційність системи. Навіть у такій досить простій постановці завдання маємо зовсім не прості варіанти, які залежать від того, що відомо про функцію Φ , і від наявності або відсутності деяких загальних відомостей про її властивості (безперервності, монотонності, симетричності тощо). Додаткові варіанти (і додаткові складнощі) виникають, якщо входи або виходи спостерігаються з перешкодами і спотвореннями. При цьому різні припущення про природу цих перешкод приводять до принципово різних рішень завдання.

Проте клас систем, які можна вважати безінерційними, досить вузький. Необхідно будувати математичні моделі систем, вихід яких визначають не лише значенням входу в даний момент часу, а й значеннями, які були на вході в попередні моменти.

Усі зазначені типи моделей є формальними, що належать до будь-яких систем, і отже, не належать ні до однієї конкретної системи. Щоб одержати модель заданої системи, потрібно надати формальній моделі конкретний зміст. Це належить як до статичних, так і до динамічних систем.

ТЕМА 8. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ. МЕТОДИ ФОРМАЛІЗОВАНОГО ПОДАННЯ СИСТЕМ (МФПС)

8.1. Методи моделювання систем

Постановка будь-якого завдання полягає в тому, щоб *перевести його словесний, вербальний опис у формальний опис.*

У разі відносно простих завдань такий перехід здійснюється в свідомості людини, яка не завжди навіть може пояснити, як вона це зробила. Якщо одержана формальна модель (математична залежність між величинами у вигляді формули, рівняння, системи рівнянь) спирається на фундаментальний закон або підтверджується експериментом, то цим доводиться її адекватність ситуації, що відображається, і модель рекомендують для вирішення завдань відповідного класу.

У міру ускладнення завдань одержання моделі і доведення її адекватності ускладнюється. Спочатку експеримент стає дорогим і небезпечним (наприклад, під час створення складних технічних комплексів, при реалізації космічних програм тощо), а стосовно економічних об'єктів експеримент стає практично нереалізованим, завдання переходить до класу проблем ухвалення рішень, і постановка завдання, формування моделі, тобто переведення вербального опису в формальний, стає важливою складовою частиною процесу ухвалення рішення. Причому цю складову частину не завжди можна виділити як окремий етап, завершивши який можна використовувати одержану формальну модель, як звичайний математичний опис, строгий та абсолютно справедливий. Більшість реальних ситуацій проектування складних технічних комплексів та управління економікою необхідно відображати класом самоорганізаційних систем, моделі яких повинні весь час коригуватися і розвиватися. Водночас можлива заміна не лише моделі, а й методу моделювання, що часто є засобом розвитку уявлення ОПР про модельовану ситуацію.

Іншими словами, переведення вербального опису в формальний, осмислення, інтерпретація моделі та одержаних результатів стають невід'ємною частиною практично кожного етапу моделювання складної системи, що розвивається. Часто для того, щоб точніше охарактеризувати такий підхід до моделювання процесів ухвалення рішень, говорять про створення «механізму» моделювання, «механізму» ухвалення рішень (наприклад, «господарський механізм», «механізм проектування і розвитку підприємства» тощо).

Водночас виникають такі питання: як формувати моделі, що розвиваються, або «механізми», як доводити адекватність моделей, що і є основним предметом системного аналізу.

Для вирішення проблеми переведення вербального опису в формальний у різних сферах діяльності почали розвиватися спеціальні прийоми та методи. Так виникли методи типу «мозкової атаки», «сценаріїв», експертних оцінювань, «дерева цілей» тощо.

У свою чергу, розвиток математики відбувався в напрямку розширення засобів постановки і вирішення важкоформалізованих завдань. Поряд із детермінованими, аналітичними методами класичної математики виникла теорія ймовірностей і математична статистика (як засіб доведення адекватності моделі на основі вибірки і поняття ймовірності правомірності використання моделі та результатів моделювання). Для завдань із більшим ступенем невизначеності інженери почали залучати теорію множин, математичну логіку, математичну лінгвістику, теорію графів, що багато в чому стимулювало розвиток цих напрямів. Іншими словами, математика почала поступово накопичувати засоби роботи з невизначеністю, зі змістом, який класична математика виключала з об'єктів свого розгляду.

Отже, між неформальним, образним мисленням людини і формальними моделями класичної математики склався наче «спектр» методів, що і допомагають одержувати і уточнювати (формалізувати) вербальний опис проблемної ситуації, з одного

боку, та інтерпретувати формальні моделі, зв'язувати їх з реальною дійсністю, з іншого боку.

Класифікації методів моделювання систем. Існують різні класифікації методів моделювання систем. Наведемо одну з найпоширеніших класифікацій, запропоновану Федором Євгеновичем Темніковим, який поділив методи на два великі класи: *методи формалізованого подання систем (МФПС) і методи, спрямовані на активізацію використання інтуїції та досвіду фахівців (МАІФ)*. Класифікація наведена на рисунку 8.1.

Відзначимо, що в групі МАІФ методи розміщені зверху вниз приблизно в порядку зростання можливостей формалізації, а в групі МФПС – зверху вниз зростає увага до змістовного аналізу проблеми і з'являється все більше засобів для такого аналізу.

Комплексировані (інтегральні) методи моделювання створюються на основі поєднання вже існуючих класів методів. Існують нові методи, що базуються на поєднанні засобів МАІФ і МФПС. Ця група спеціальних методів наведена на рисунку 8.1 у вигляді самостійних груп методів моделювання, названих *методами поступової формалізації задач і комплексированими методами*.

Класифікація МФПС. Розглянемо класифікацію МФПС Ф. Є. Темнікова, в якій він виділив такі узагальнені групи (класи) методів:

а) *аналітичні методи* (методи класичної математики, до складу якої входять інтегральне та диференціальне числення, методи пошуку екстремумів функцій, варіаційне числення тощо; методи математичного програмування; методи теорії ігор);

б) *статистичні методи* (містять теорію ймовірностей, математичну статистику та напрямки прикладної математики, що використовують стохастичні методи – теорію масового обслуговування, методи статистичних випробувань (засновані на методі Монте-Карло), методи висунення та перевірки статистичних гіпотез Абрахама Вальда й інші методи статистичного імітаційного моделювання);

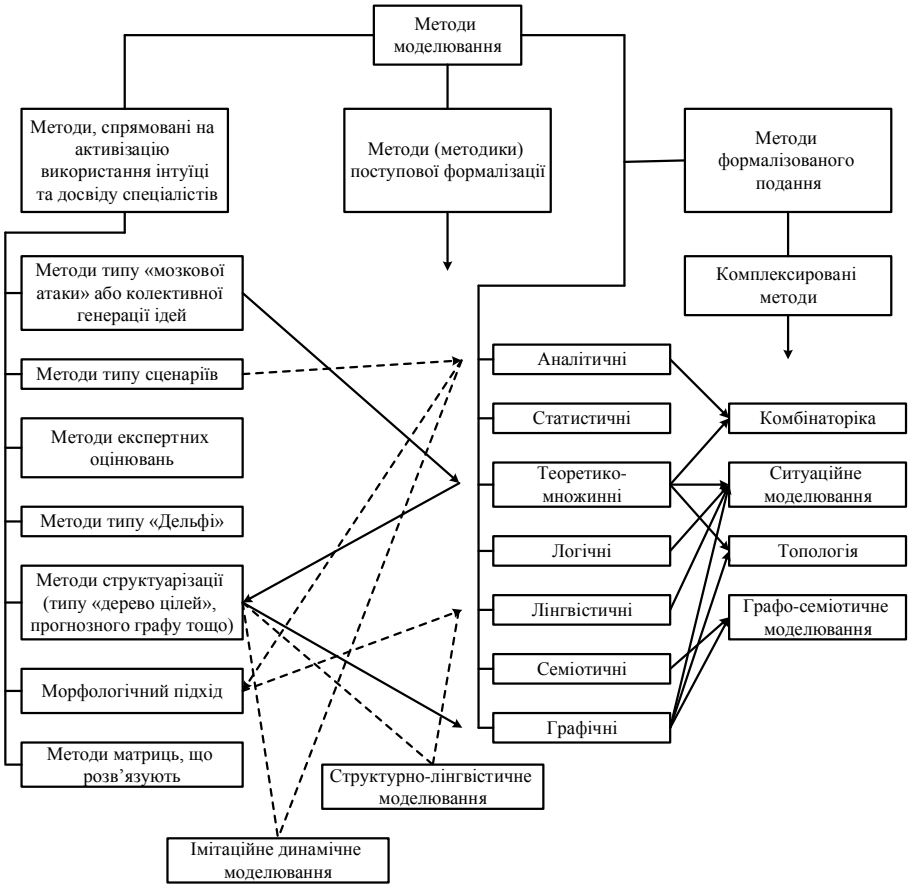


Рисунок 8.1 – Методи моделювання систем

в) *теоретико-множинні, логічні, лінгвістичні методи, семіотичні методи* (методи дискретної математики, що становлять теоретичну основу розроблення мов моделювання, автоматизації проєктування, інформаційно-пошукових мов);

г) *графічні методи* (містять теорію графів і різного роду графічні методи інформації типу діаграм, гістограм й інших графіків).

Стисло охарактеризуємо такі методи.

8.2. Аналітичні та статистичні методи

Ці групи методів набули найбільшого поширення в практиці проектування та управління. Проте, для наведення проміжних і кінцевих результатів моделювання широко використовують графічні методи (графіки, діаграми тощо), однак останні є допоміжними методами. Основу моделі, доведення її адекватності складають ті чи інші напрямки аналітичних і статистичних методів. Тому, незважаючи на те, що за основними напрямками цих двох класів методів студенти одержать знання у вищих навчальних закладах, є доцільним стисло охарактеризувати їх особливості, переваги та недоліки з точки зору можливості використання під час моделювання систем.

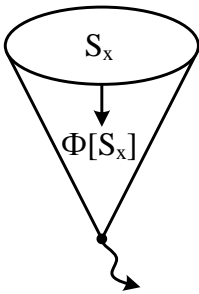


Рисунок 8.2 – Аналітичні методи

Аналітичні методи. Аналітичними в розглянутій класифікації названі методи, які відображають реальні об'єкти і процеси у вигляді точок, що здійснюють будь-які переміщення в просторі або взаємодіють між собою. Цю здатність аналітичних методів ілюструє перетворення складної системи в точку (рис. 8.2), що здійснює деякий рух (або має деяку поведінку), за допомогою оператора (функції, функціонала) $\Phi[S_x]$. Зазвичай поведінку точок, їх взаємодію описують строгими співвідношеннями, що мають силу закону. Основу понятійного (термінологічного) апарату цих методів складають поняття класичної математики (величина, формула, функція, рівняння, система рівнянь, логарифм, диференціал, інтеграл тощо).

Аналітичні методи мають багатовікову історію розвитку, і для них характерно не лише строгість термінології, а й закріплення за деякими спеціальними величинами певних символів і значень (наприклад, подвійне відношення площі круга до площі вписаного в нього квадрата $\pi \approx 3,1416$, основа натурального логарифма $e \approx 2,71$ тощо).

На базі аналітичних методів виникли та розвиваються математичні теорії різної складності – від апарату класичного математичного аналізу (методів дослідження функцій, їх видів, способів подання, пошуку екстремумів функцій тощо) до таких розділів сучасної математики, як математичне програмування (лінійне, нелінійне, динамічне тощо), теорія ігор (матричні ігри з чистими стратегіями, диференціальні ігри тощо).

Ці теоретичні напрямки є основою багатьох прикладних дисциплін, зокрема теорії автоматичного управління, теорії оптимальних рішень тощо.

Під час моделювання систем застосовують широкий спектр символічних методів, що використовують «мову» класичної математики. Проте далеко не завжди ці символічні методи адекватно відображають реальні складні процеси, і їх у цьому разі не можна вважати строгими математичними моделями.

Більшість із напрямків математики не містять засобів постановки завдання і доведення адекватності моделі. Останню доводять експериментально, але це дорого і не завжди беззаперечно і піддається реалізації.

Аналітичні методи застосовують у тому разі, коли властивості системи можна відобразити за допомогою детермінованих величин або залежностей, тобто коли знання про процеси і події в деякому інтервалі часу дають можливість повністю визначити поведінку їх поза цим інтервалом. Ці методи використовують під час вирішення завдань руху і стійкості, оптимального розміщення, розподілу робіт і ресурсів, вибору найкращого методу, оптимальної стратегії поведінки, зокрема в конфліктних ситуаціях тощо.

Водночас, під час практичного застосування аналітичних методів для відображення складних систем потрібно мати на увазі, що вони вимагають установлення всіх детермінованих зв'язків між компонентами і цілями системи у вигляді аналітичних залежностей. Для складних багатокomпонентних, багатокритеріальних систем одержати необхідні аналітичні залежності вкрай важко. Більше того, навіть якщо це і вдається зробити, то практично неможливо довести правомірність застосування таких виразів, тобто адекватність моделі цьому завданню.

Математичне програмування містить засоби постановки завдання і розширює можливості доведення адекватності моделей. Привабливість методів математичного програмування для вирішення слабоформалізованих завдань (планування, розподілу робіт і ресурсів, завантаження устаткування тощо) пояснюється низкою особливостей, що відрізняють ці методи від методів класичної математики.

Основними особливостями математичного програмування є такі:

- введення цільової функції й обмежень і орієнтація на їх формування є фактично деякими засобами постановки завдання;
- під час використання методів математичного програмування з'являється можливість об'єднання в єдиній моделі різнорідних критеріїв (різних розмірностей, граничних значень);
- модель математичного програмування припускає вихід на межі області визначення змінних;
- дає можливість одержати покроковий алгоритм вирішення завдання.

Статистичні методи застосовують у тому разі, коли попередній аналіз проблемної ситуації показує, що вона не може бути наведена у вигляді добре організованої системи. В такому разі рекомендують навести ситуацію у вигляді погано організованої (дифузної) системи і звернутися передусім до статистичних методів. Статичні методи сформувалися у самостійну наукову дисципліну в середині ХХ століття. Основу

їх становить відображення явищ і процесів за допомогою випадкових (стохастичних) подій і їх поведінки, які описуються відповідними ймовірнісними (стохастичними) характеристиками та статистичними закономірностями.

Термін «стохастичні» уточнює поняття «випадковий», яке в повсякденному сенсі прийнято пов'язувати з відсутністю причин появи подій, з появою не лише повторюваних і таких, що підкоряються деяким закономірностям, а й одиничних подій. Процеси, що відображаються статистичними закономірностями, повинні бути жорстко пов'язані з наперед заданими, визначеними причинами, а «випадковість» означає, що вони можуть з'явитися або не з'являться за наявності заданого комплексу причин.

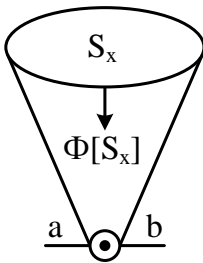


Рисунок 8.3 –
Статистичні
методи

Статистичні відображення системи в загальному випадку можна навести у вигляді «розмитої» точки (розмитої області) в n -вимірному просторі, в яку переводить систему оператор $\Phi[S_x]$ (рис. 8.3). «Розмиту» точку потрібно розуміти як деяку область, що характеризує рух системи (її поведінку); водночас межі області задані з деякою ймовірністю P , а рух точки описує деяка випадкова функція.

Взявши всі параметри цієї області, крім одного, незмінними, можна одержати зріз по лінії ab , сенс якого – вплив цього параметра на поведінку системи, що можна описати статистичним розподілом за цим параметром. Аналогічно можна одержати двовимірну, тривимірну тощо картини статистичного розподілу.

На базі статистичних методів розвивається низка математичних теорій: математична статистика, що об'єднує різні методи статистичного аналізу (регресійний, дисперсійний, кореляційний, факторний тощо); теорія статистичних випробувань, основою якої є метод Монте-Карло, а розвитком – теорія статистичного імітаційного моделювання; теорія

висунення і перевірки статистичних гіпотез, що виникла для оцінювання процесів передачі сигналів на відстані.

Розширення можливостей відображення складних систем і процесів порівняно з аналітичними методами можна пояснити тим, що під час застосування статистичних методів процес постановки завдання частково замінюють статистичними дослідженнями, які дають можливість без виявлення всіх детермінованих зв'язків між досліджуваними об'єктами (подіями) або компонентами складної системи, на основі вибіркового дослідження (дослідження репрезентативної вибірки) одержувати статистичні закономірності і поширювати їх на поведінку системи в цілому.

Проте не завжди можна одержати статистичні закономірності, не завжди може бути визначена репрезентативна вибірка, доведена правомірність застосування статистичних закономірностей. У такому разі доцільно звернутися до методів, об'єднаних під загальною назвою – «методи дискретної математики», на яких базуються теоретико-множинні, логічні, лінгвістичні та графічні методи.

8.3. Теоретико-множинні методи

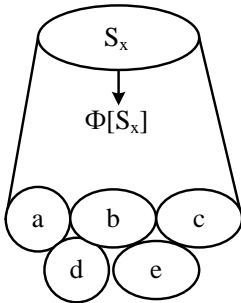


Рисунок 8.4 –
Теоретико-
множинні
методи

Теоретико-множинні методи
базуються на поняттях «множина», «елементи множини», «відношення на множинах».

Складну систему можна подати у вигляді сукупності різнорідних множин і відношень між ними (рис. 8.4). Множини можна задавати двома способами: перерахуванням елементів $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ або назвою характеристичної властивості (ім'ям, що відображає цю властивість, наприклад, множина А або множина планет сонячної системи, множина робочих цього заводу тощо). В основі більшості теоретико-

множинних перетворень використовують перехід від одного способу задання множини до іншого способу. У множині можуть бути виділені підмножини.

Із двох і більше множин або підмножин можна, встановивши відношення між їх елементами, сформувати нову множину, що складається з елементів вихідних множин (за такого перетворення в елементів нової множини наче з'являється інший зміст порівняно з вихідною множиною). Теоретико-множинні методи допускають введення будь-яких відношень. За конкретизації застосовуваних відношень і правил їх використання можна одержати одну з алгебр логіки, одну з формальних мов математичної лінгвістики, створити мову моделювання складних систем, яка потім, одержавши відповідну назву, може розвиватися як самостійна наукова дисципліна.

Завдяки тому, що у теоретико-множинних методах можна вводити будь-які відношення, ці методи мають такі *особливості*:

а) є гарною мовою, за допомогою якої полегшується взаєморозуміння між представниками різних галузей знань;

б) можуть бути основою для виникнення нових наукових напрямів для створення мов моделювання.

Теоретико-множинні методи є основою математичної теорії систем М. Месаровича. Проте свобода введення будь-яких відношень призводить до того, що в створюваних мовами моделювання важко ввести правила, закономірності, використовуючи які формально, можна одержати нові результати, адекватні реальним модельованим об'єктам і процесам. У загальному випадку в мові можуть з'являтися ситуації парадоксів або антиномій, що призводить до необхідності обмеження різноманітності відношень у створюваних мовах.

Конкретна система за первинного опису може бути відображена теоретико-множинною формулою, що містить набори різних елементів, відношень між ними, які також можуть бути поділені на підмножини, властивості елементів і властивості відношень. Далі можуть бути враховані множини

вхідних впливів і вихідних результатів. У підсумку формула може змінитися і відобразити взаємовідношення між групами множин.

8.4. Методи математичної логіки

Логічні методи переводять реальну систему і відношення в ній на мову однієї з алгебр логіки (двозначної, багатозначної), заснованих на застосуванні методів алгебри для вираження законів формальної логіки (рис. 8.5). Найбільшого поширення набула бінарна алгебра логіки Буля (булева алгебра).

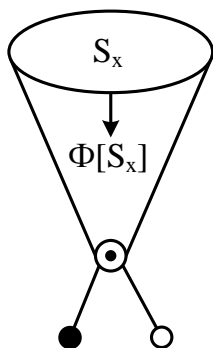


Рисунок 8.5 –
Методи
математичної
логіки

Алгебра логіки оперує такими поняттями: висловлювання, предикат, логічні операції (логічні функції, квантори). У ній доводять теореми, які одержують потім силу логічних законів, застосовуючи які можна перевести систему з одного опису в інший з метою її вдосконалення, наприклад, одержати більш просту структуру (схему), що містить меншу кількість станів, елементів, але здійснює необхідні функції. Теореми доводять і використовують у межах формального логічного базису, який визначають сукупністю спеціальних правил.

Логічні методи наведення систем відносять до детермінованих, хоча можливо і їх розширення у бік імовірнісних оцінювань.

На основі логічних методів спочатку починали розвиватися деякі розділи теорії формальних мов. Нині на базі математичної логіки створені й розвиваються теорії логічного аналізу та синтезу, теорія автоматів.

Через обмеженість можливостей бінарної алгебри логіки у вираженні сенсу останнім часом є спроби створення багатозначних алгебр логіки з відповідними логічними базисами й теоремами.

Логічні методи застосовують під час дослідження нових структур систем різноманітної природи (технічних об'єктів, текстів тощо), в яких характер взаємодії між елементами ще не настільки ясний, щоб було можливо їх подати аналітичними методами, а статистичні дослідження або ускладнені, або не призвели до виявлення стійких закономірностей. Водночас потрібно мати на увазі, що за допомогою логічних алгоритмів можна описувати не будь-які відношення, а лише ті, які передбачені законами алгебри логіки і відповідають вимогам логічного базису.

Логічні методи знайшли широке практичне застосування під час дослідження та розроблення автоматів, автоматичних систем контролю, а також під час вирішення завдань розпізнавання образів і в експертних системах. Логічні методи становлять основу теорії алгоритмів. На їх базі розвиваються прикладні розділи теорії формальних мов. Водночас можливості логічних методів у вираженні сенсу обмежені базисом і функціями алгебри логіки і не завжди дають можливість адекватно відобразити реальну проблемну ситуацію.

8.5. Лінгвістичні та семіотичні методи

Лінгвістичні методи базуються на поняттях *тезауруса* (словника, який містить однозначні слова; кожному його слову відповідає лише одне поняття; тезаурус характеризує структуру мови), *граматики* (будови мови; сукупності правил, за якими слова об'єднуються в змістовні фрази і речення, а також правил утворення слів), *семантики* (змісту формованих фраз, речень та інших елементів, що виражають сенс; вивчає значення слів і їх складових частин, словосполучень і фразеологізмів) і *прагматики* (сенсу для даної задачі, мети).

Семіотичні методи базуються на поняттях: *знак, знакова система, знакова ситуація*. Семіотика виникла як наука про знаки в широкому сенсі. Однак найбільш широке практичне застосування набув напрямок лінгвістичної семіотики, який, поряд з основними поняттями семіотики (знак, знакова система,

трикутник Фреге тощо) використовує деякі поняття математичної лінгвістики (тезаурус, граматики тощо). З теоретичної точки зору межу між лінгвістичними та семіотичними методами під час розроблення мов моделювання можна визначити характером правил граматики (якщо правила не охоплені класифікацією правил виведення формальних граматики Ноама Хомського, то модель зручніше віднести до семіотичної й застосовувати принципи її аналізу, запропоновані семіотикою). Для практичних застосувань моделі лінгвістичних і семіотичних методів можна розглядати як один клас методів формалізованого подання систем.

Лінгвістичні та семіотичні методи виникли і розвиваються в зв'язку з потребами аналізу текстів і мов. Проте останнім часом ці методи почали широко застосовуватися для відображення та аналізу процесів у складних системах у тому разі, коли не вдається застосувати відразу аналітичні, статистичні методи або методи формальної логіки. Зокрема, такі методи є зручним апаратом для першого етапу поступової формалізації завдань ухвалення рішень у погано сформульованих ситуаціях. На їх основі розробляють мови моделювання, автоматизації проектування тощо.

Що стосується недоліків цих методів, то під час ускладнення мови моделювання, під час застосування правил довільних граматики Хомського або правил лінгвістичної семіотики важко гарантувати правильність одержаних результатів, виникають проблеми алгоритмічної можливості розв'язання, можлива поява парадоксів.

8.6. Графічні методи

До *графічних методів* належать будь-які *графіки* (графіки Ганта, діаграми, гістограми тощо) і *теорії*, що виникли на основі графічних відображень (теорія графів, теорія мережевого планування та управління тощо), тобто все те, що дає можливість наочно навести процеси, що відбуваються в системах, і полегшити Отже їх аналіз для людини (особи, яка

приймає рішення). З цієї точки зору їх можна розглядати як проміжні методи між МФПС і МАІФ. Дійсно, такі засоби, як графіки, діаграми, гістограми, деревоподібні структури, можна віднести до засобів активізації інтуїції фахівців.

Графічні методи є зручними засобами дослідження структур і процесів у складних системах та вирішення різного роду організаційних питань в інформаційно-керувальних комплексах, в яких необхідна взаємодія людини і технічних пристроїв.

Водночас є методи, що виникли на основі графічних методів, які дають можливість ставити і вирішувати питання оптимізації процесів організації, управління, проектування, і є математичними методами в традиційному сенсі. Такими є, зокрема, геометрія, теорія графів і прикладні теорії, що виникли на основі теорії графів, – PERT (техніки оцінювання й аналізу проєктів, яку використовують у технологіях управління проєктами), мережевого планування та управління (МПУ), статистичного мережевого моделювання з використанням імовірнісних оцінювань графів.

ТЕМА 9. МЕТОДИ, СПРЯМОВАНІ НА АКТИВІЗАЦІЮ ІНТУЇЦІЇ ТА ДОСВІДУ СПЕЦІАЛІСТІВ

До розглянутих нижче підходів і методів фахівці вдаються в тому разі, коли не можуть відразу описати розглянуту проблемну ситуацію аналітичними залежностями або вибрати той чи інший з розглянутих вище методів ухвалення рішення.

9.1. Методи типу «мозкової атаки» або колективної генерації ідей

Концепція *мозкового штурму* і *мозкової атаки* набула широкого використання з початку 50-х років ХХ ст. як «метод систематичного тренування творчого мислення», спрямований на «відкриття нових ідей та досягнення згоди групи людей на основі інтуїтивного мислення». Мозкова атака базується на гіпотезі, що серед великої кількості ідей є, щонайменше, декілька гарних, корисних для вирішення проблеми, які потрібно виявити. Методи цього типу відомі також під назвою *колективної генерації ідей*, *конференції ідей*, *методу обміну думками*. Зазвичай під час проведення мозкової атаки або сесії намагаються виконати певні правила, суть яких зводиться до того, щоб забезпечити якомога більшу свободу мислення учасників і висловлювання ними нових ідей. Для цього рекомендують сформулювати проблему в основних термінах, виділивши центральний пункт обговорення, висловлювати і підхоплювати будь-які ідеї, навіть якщо вони спочатку здаються сумнівними або абсурдними, не допускати критики, не припиняти обговорювати жодну ідею, висловлювати якомога більшу кількість ідей (бажано нетривіальних), намагатися створити ніби ланцюгові реакції ідей, надавати підтримку і заохочення, необхідні для того, щоб звільнити учасників від скутості.

Залежно від прийнятих правил і жорсткості їх виконання розрізняють *пряму мозкову атаку*, *метод обміну думками*,

метод типу комісій, судів (в останньому випадку створюють дві групи: одна група вносить якомога більше пропозицій, а друга намагається максимально їх розкритикувати). Мозкову атаку можна здійснювати у формі ділової гри, із застосуванням тренувальної методики «стимулювання спостереження», відповідно до якої група формує уявлення про проблемну ситуацію, а експерту пропонують знайти найбільш логічні методи вирішення проблеми.

9.2. Методи типу «сценаріїв»

Методи підготовки й узгодження уявлень про проблему або аналізований об'єкт, викладених у *письмовому вигляді*, одержали назву сценаріїв. Таким сценарієм може бути будь-який документ, що містить аналіз розглянутої проблеми і пропозиції щодо її вирішення або розвитку системи, незалежно від того, в якій формі він наведений.

Зазвичай на практиці експерти спочатку індивідуально пишуть пропозиції для підготовки подібних документів, а потім формують узгоджений текст.

Сценарій передбачає не лише змістовні міркування, що допомагають не упустити деталі, які неможливо врахувати у формальній моделі (у цьому власне і полягає основна роль сценаріїв), а і містить результати кількісного техніко-економічного або статистичного аналізу з попередніми висновками. Роль фахівців з системного аналізу під час підготовки сценарію – допомогти залученим провідним фахівцям відповідних галузей знань виявити загальні закономірності розвитку системи; проаналізувати зовнішні та внутрішні фактори, що впливають на її розвиток і формулювання цілей; провести аналіз висловлювань провідних фахівців. В останні роки до сценарію вводять кількісні параметри і встановлюють їх взаємозв'язки, пропонують методики цільового управління підготовкою сценарію.

Сценарій дає можливість створити попереднє уявлення про проблему (систему) в ситуаціях, які не вдається відразу

відобразити формальною моделлю. Проте сценарій – це все той самий текст, та ще з наслідками (синонімія, парадокси, відношення) неоднозначного тлумачення. Тому це – всього лише основа для подальшої формалізації.

9.3. Методи структуризації

Структурні методи різного роду дають можливість поділити складну проблему з великою невизначеністю на більш дрібні, які краще піддаються дослідженню, що само собою можна розглядати як певний метод дослідження, який іноді називають *системно-структурним*. Види структур, одержані методом поділу системи в часі (мережеві структури) або в просторі (ієрархічні структури різного роду, матричні структури), були розглянуті в п. 4.2. Методи структуризації є основою будь-якої методики системного аналізу, будь-якого складного алгоритму організації проектування або ухвалення управлінського рішення.

Методи типу «дерева цілей». Під терміном «дерево» маємо на увазі використання ієрархічної структури, яку одержують методом поділу спільної мети на підцілі, а їх, у свою чергу, на більш детальні складові, тобто на підцілі нижчих рівнів, напрямки, проблеми, а з деякого рівня – функції.

Під час використання методу «дерево цілей» як засіб ухвалення рішень часто застосовують термін «дерево рішень». Під час застосування методу для виявлення та уточнення функцій системи управління мають на увазі «дерево цілей і функцій». Під час структуризації тематики науково-дослідних організацій використовують термін «дерево проблеми», а під час розроблення прогнозів – «дерево напрямків розвитку (прогнозування розвитку)» або «прогнозний граф».

9.4. Методи експертних оцінювань

Вивченню особливостей і можливостей застосування експертних оцінювань присвячено багато робіт. У них

розглянути такі питання:

1) проблеми формування експертних груп, включаючи вимоги до експертів, розміри групи, питання тренування експертів, оцінювання їх компетентності;

2) форми експертного опитування (різного роду анкетування, інтерв'ю, змішані форми опитування) і методики організації опитування (зокрема методики анкетування, мозкова атака, ділові ігри тощо);

3) підходи до оцінювання (ранжування, нормування, різні види впорядкування, зокрема методи переваг, попарних порівнянь тощо);

4) методи оброблення експертних оцінювань;

5) способи визначення узгодженості думок експертів, достовірність експертних оцінювань (зокрема статистичні методи оцінювання дисперсії, оцінювання ймовірності для заданого діапазону змін оцінювань, оцінювання рангової кореляції Кендалла тощо).

Під час оброблення індивідуальних експертних оцінювань застосовують зазвичай *метод узгодження оцінювань*, який має багато варіантів, що розрізняються способами, за допомогою яких одержують узагальнене оцінювання.

Припустимо, наприклад, що експерти оцінюють альтернативи в числових шкалах. Нехай $q_j(x_i)$ – оцінювання i -тої альтернативи j -тим експертом ($i=1, m, j=1, n$). Оцінювання $q_1(x_i), q_2(x_i), \dots, q_n(x_i)$ можна розглядати як «вимірювання» шуканої «істинної характеристики» $q(x_i)$, вважаючи відхилення $q_j(x_i) - q(x_i)$ випадковими величинами. Як наближення можна використати таку статистику $\bar{q}(x_i) = q(q_1(x_i), q_2(x_i), \dots, q_n(x_i))$. Зазвичай це вибіркове середнє значення можна визначити за таким виразом:

$$\bar{q}(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j(x_i), \quad (9.1)$$

хоча можна використовувати й інші статистики.

Складніше йде справа, коли альтернативи не можна оцінити відразу одним числом і експертам пропонується дати оцінювання окремо за кожним показником. Наприклад, оцінювання товару за економічними, естетичними, функціональними тощо ознаками. У такому разі маємо набір чисел $q_{jk}(x_i)$, де k – номер ознаки ($k = 1, p$). Крім цих чисел, експертів просять оцінити ступінь важливості λ_{jk} кожного показника. Тоді вираз (9.1) набере такого вигляду:

$$\bar{q}(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \lambda_{jk} \cdot q_{jk}(x_i). \quad (9.2)$$

Ще одне уточнення вводять у разі неоднорідності групи експертів. Природно надати різні (а не однакові, що дорівнюють $\frac{1}{n}$) ваги думкам експертів, які мають різну кваліфікацію. Визначення коефіцієнта α_j компетентності j -го експерта можна доручити самим експертам. Нехай кожен із них (l -й) оцінює компетентність інших числами $0 \leq \alpha_{lj} \leq 1$ (водночас і свою – числом α_{ll}). Усереднення дає такий результат:

$$\alpha_j = \sum_{l=1}^n \left(\frac{\alpha_{lj}}{\sum_{s=1}^n \alpha_{ls}} \right), \quad (9.3)$$

де α_{lj} – коефіцієнта компетентності j -го експерта l -м експертом;

$\sum_{s=1}^n \alpha_{ls}$ – сума коефіцієнтів компетентності про всіх n

експертів l -м експертом, тобто, $\frac{\alpha_{lj}}{\sum_{s=1}^n \alpha_{ls}}$ – відносний коефіцієнт

компетентності j -го експерта щодо суми коефіцієнтів компетентності про всіх експертів на думку l -го експерта.

У результаті одержують підсумкову оцінку:

$$\bar{q}(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \alpha_j \cdot \lambda_{jk} \cdot q_{jk}(x_i). \quad (9.4)$$

У тому разі, коли експерти лише впорядковують альтернативи, тобто використовують лише порядкову шкалу (див. п. 10.4), можливість арифметичних операцій відпадає. Тоді переходять до оброблення або відносних частот переваг альтернативи, або рангів.

9.5. Методи типу «Дельфі»

Метод «Дельфі» або метод «дельфійського оракула» був запропонований Олафом Хелмером як альтернативну процедуру під час проведення мозкової атаки. Дельфійський метод був розроблений в 1950–1960 роках у США для прогнозування впливу майбутніх наукових розробок на методи ведення війни. Проте майже одночасно «Дельфі»-процедури стали засобом підвищення об'єктивності експертних опитувань із використанням кількісних оцінювань під час порівняльного аналізу складових «дерев цілей» і під час розроблення «сценаріїв». Основні засоби підвищення об'єктивності результатів під час застосування методу «Дельфі» – *використання зворотного зв'язку*, ознайомлення експертів із результатами попереднього туру опитування та врахування цих результатів під час оцінювання значущості думок експертів. У конкретних методиках, що реалізують процедуру «Дельфі», цю ідею використовують по-різному. Наприклад, здебільшого у методиках використовують такі *чотири етапи* методу «Дельфі»:

1) роздавання анкет, збирання оцінювань, їх узагальнене уявлення із зазначенням аналізу думок;

2) повідомлення підсумків і запит пояснень причин індивідуального відхилення від середнього або медіанного оцінювання першої ітерації;

3) повідомлення всіх пояснень і запит контраргументів на них;

4) повідомлення заперечень і запит нових оцінювань альтернатив, якщо експерт побажає їх змінити; знаходження кінцевого результату.

Усю роботу виконують під керівництвом окремої керувальної групи, в яку входять системний аналітик і особа, яка приймає рішення; анонімність експертів зберігається до кінця роботи (а за бажанням і після закінчення). Метод «Дельфі» на практиці має достатньо високу ефективність.

9.6. Методи організації складних експертиз

Подальше покращання методів експертних оцінювань відбувалося в зв'язку з необхідністю створення методів, що підвищують об'єктивність одержання оцінювань методом поділу великої невизначеності проблеми, запропонованої експерту для оцінювань, на більш дрібні, які краще піддаються осмисленню. Як найпростіший з цих методів може бути використаний *спосіб ускладненої експертної процедури*, запропонованої в *методиці ПАТТЕРН*. Абревіатура PATTERN означає Planning Assistance Through Technical Relevance Number, – що перекладається як допомога планування за допомогою відносних показників технічного оцінювання.

Система ПАТТЕРН стала важливим інструментом аналізу складних проблем із великою невизначеністю, прогнозування та планування їх виконання. Основні ідеї методики застосовувалися в різних сферах – наукові дослідження, проєктування і створення систем різної складності в науково-дослідних організаціях і на підприємствах, розширення ринків збуту військово-космічної продукції тощо. Глибина

прогнозування в системі ПАТТЕРН становила 10–15 років, що відповідає життєвому циклу становлення і старіння техніки.

Головна перевага методики ПАТТЕРН полягає в тому, що в ній визначені класи критеріїв оцінювання відносної важливості, взаємної корисності, стану і термінів розроблення. У цій методиці рекомендується ввести вагові коефіцієнти критеріїв. Введення критеріїв дає можливість організувати опитування експертів більш диференційовано, а вагові коефіцієнти підвищують об'єктивність результуючих оцінювань. ПАТТЕРН – перша методика системного аналізу, в якій були визначені порядок, методи формування та оцінювання пріоритетів елементів структур цілей.

Призначенням, кінцевою метою створення системи ПАТТЕРН була підготовка й реалізація планів забезпечення військової переваги США над світом.

Принципова структура методики ПАТТЕРН наведена на рисунку 9.1. За основу для формування та оцінювання «дерева цілей» розроблені «сценарії» нормативного прогнозу і прогноз розвитку науки і техніки.

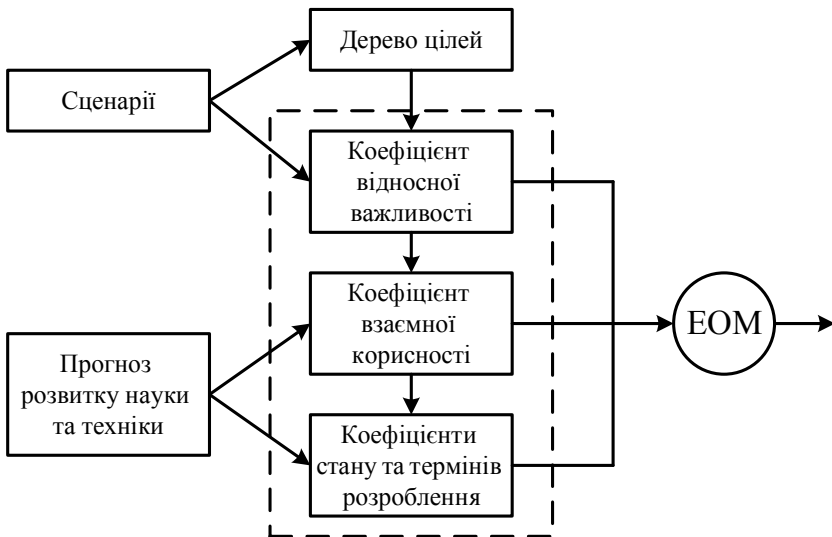


Рисунок 9.1 – Принципова структура методики ПАТТЕРН

Практика використання системи ПАТТЕРН показала, що вона дає можливість здійснювати аналіз складних проблемних ситуацій, розподіляти за важливістю величезну кількість даних у будь-якій сфері діяльності, досліджувати взаємне співвідношення сталих і змінних факторів, на яких ґрунтуються і на які впливають прийняті ними рішення.

Приклад варіанта «*дерева цілей*», побудованого під час виконання одного з проєктів ПАТТЕРН, наведений на рисунку 9.2.

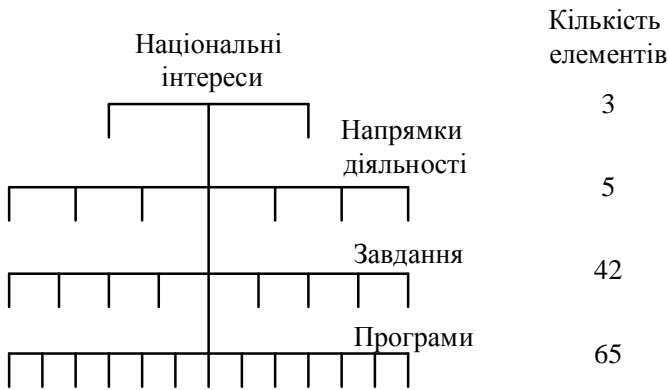


Рисунок 9.2 – Приклад варіанта «дерева цілей»

За інший метод організації складних експертиз можна використовувати *метод матриць, що розв’язують*, ідея якого була запропонована Гермогеном Сергійовичем Поспеловим. Цей метод застосовують для реалізації великих дорогих проєктів (космос, оборона, фундаментальні наукові дослідження тощо), під час створення, реконструкції, конверсії підприємств або науково-дослідних організацій, які інвестує держава, тобто в ситуаціях, для яких підвищуються вимоги до ретельності аналізу факторів, що впливають на ухвалення рішень.

У методі матриць, що розв’язують, підвищення достовірності експертних оцінювань здійснюють завдяки поділу проблеми з високим рівнем невизначеності на більш прості

проблеми і покрокового одержання оцінювань.

Наприклад, під час створення складних виробничих комплексів, автоматизованих систем управління та інших складних об'єктів потрібно визначити вплив на об'єкт, що проєктується, фундаментальних науково-дослідних робіт (НДР), щоб запланувати ці роботи, передбачити їх фінансування і розподілити кошти між ними.

Одержати від експертів об'єктивні та достовірні оцінювання впливу фундаментальних НДР на проєктування складного комплексу практично неможливо. Для того щоб полегшити експертам це завдання, можна спочатку запитати їх, які напрямки (сфери) досліджень можуть бути корисні для створення комплексу і попросити визначити їх відносні ваги цих напрямків. Потім скласти план дослідно-конструкторських робіт для одержання необхідних результатів з названих напрямків і оцінити їх внесок. Далі потрібно визначити програму прикладних наукових досліджень і відносні ваги прикладних НДР. І, нарешті, – оцінити вплив фундаментальних НДР на прикладні роботи.

У результаті під час використання методу матриць, що розв'язують, оцінювання відносної важливості складної альтернативи зводять до послідовності оцінювання більш окремих альтернатив, які експерт здатний здійснити. Іншими словами, більш невизначену ситуацію, що мала місце на початку виконання завдання, ніби поділяють на більш «дрібні», які краще піддаються дослідженню та оцінюванню.

9.7. Морфологічні методи

Терміном «*морфологія*» в біології та мовознавстві називають вчення про внутрішню структуру досліджуваних систем (організмів, мов) або внутрішню структуру цих систем. У систематизованому вигляді методи морфологічного аналізу складних проблем були розроблені швейцарським астрономом Фріцем Цвіккі.

Основна ідея морфологічного підходу – систематично

знаходити найбільше число, а в межі – всі можливі варіанти вирішення поставленої проблеми або реалізації системи методом комбінування основних (виділених дослідником) структурних елементів системи та їх ознак. Водночас систему або проблему можна поділити на частини різними способами і розглядати в різних аспектах.

Відправними точками системного дослідження Ф. Цвіккі є такі:

- 1) однаковий інтерес до всіх об'єктів морфологічного дослідження;
- 2) ліквідація всіх оцінювань і обмежень доти, поки не буде одержана повна структура досліджуваної області;
- 3) максимально точне формулювання поставленої проблеми.

Крім цих загальних положень, Цвіккі запропонував низку *методів морфологічного моделювання*:

- метод систематичного покриття поля;
- метод заперечення та конструювання;
- метод морфологічного ящика;
- метод екстремальних ситуацій;
- метод зіставлення вчиненого з дефектним;
- метод узагальнення.

Найбільшої популярності набули три перших методи.

Метод систематичного покриття поля передбачає, що існує певна кількість «опорних пунктів» знання в будь-якій досліджуваній області. Такими пунктами можуть бути теоретичні положення, емпіричні факти, відомі на цей момент компоненти складної системи, відкриті закони. Виходячи з обмеженої кількості опорних пунктів знання і достатньої кількості принципів мислення (зокрема різних мір близькості) за допомогою методу шукають можливі варіанти вирішення поставленої проблеми.

Метод заперечення та конструювання ґрунтується на міркуваннях, які Цвіккі сформулював так: «На шляху конструктивного прогресу лежать догми і компромісні або диктаторські обмеження. Отже, є сенс їх заперечувати. Проте

кількість варіантів становить $R = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_m$, де k_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – кількість значень i -го параметра.

4) оцінювання всіх наявних у морфологічному ящику варіантів;

5) вибір найкращого варіанта вирішення завдання.

Можливі такі *методи вибору рішення* з морфологічного ящика:

– застосування одного критерію, що повністю виключає всі варіанти, крім одного;

– послідовне застосування декількох критеріїв, які поступово виключають усі варіанти, крім одного;

– поділ проблеми на підпроблеми (або завдання на підзавдання) і послідовне застосування декількох критеріїв для вибору за одним варіантом вирішення за кожною з підпроблем, які разом узяті та становлять шукане рішення.

Запропоновані методи як засіб винахідницької діяльності знайшли широке застосування під час моделювання задач автоматизації проектування, задач планування, наприклад, розподілу замовлень за плановими періодами, розміщення їх за виробництвами, лініями зборки тощо.

ТЕМА 10. РОЛЬ ВИМІРЮВАНЬ У СТВОРЕННІ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ

Системний аналіз часто призводить до необхідності експериментального дослідження. Часто такі експерименти доручають фахівцям у цій галузі. Але від системного аналітика залежить постановка мети дослідів і витягнення повної інформації з результатів дослідів. Тому під час здійснення системного аналізу необхідно знати таке: як організувати і провести експеримент, яку шкалу максимально допустимої сили можна вибрати для вимірювань, які методи оброблення (перетворення) застосовні до вихідних даних, яким чином в алгоритмах оброблення врахувати реальні особливості протоколів спостережень.

10.1. Експеримент і модель

Відношення між експериментом і моделлю такі самі, як між куркою і яйцем: вони перебувають в одному циклі, і не можна визначити, що було «на самому початку».

Модель будують на підставі деяких фактів, одержаних у результаті спостережень (пасивного експерименту). Щоб уточнити модель, знову проводять активний експеримент. Але постановка цього експерименту залежить від тієї моделі, яку уточнюють і т. д.

Звідси випливає, що з одного боку, експеримент дає можливість перевірити та уточнити модель. З іншого боку, модель диктує, який саме експеримент потрібно зробити. Тобто, модель є джерелом інформації для організації експерименту.

Як писав Даулат Сінгх Котарі: «Проста істина полягає в тому, що ні вимір, ні експеримент, ні спостереження неможливі без відповідної теоретичної схеми». На рисунку 10.1 наведена схема відношень моделі та експерименту.

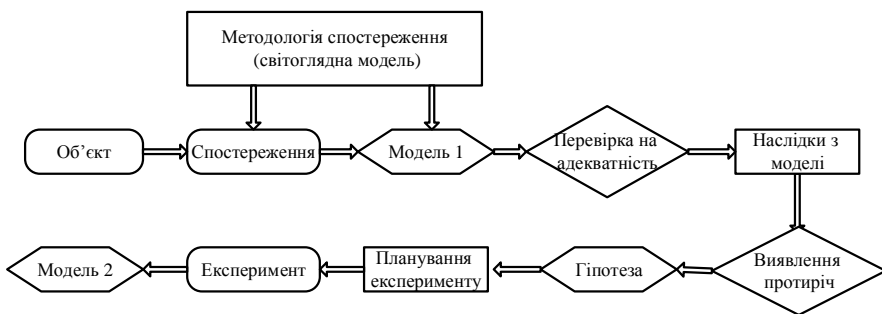


Рисунок 10.1 – Схема відношення моделі та експерименту

10.2. Поняття шкали

Результати експериментів реєструють за допомогою вимірювань. *Вимірювання* – це *алгоритмізована операція*, яка певному стану, що спостерігається, об'єкту, процесу, явищу ставить у відповідність певне число або символ. Результати вимірювання містять в собі інформацію про об'єкт, за яким спостерігають.

У житті ми звикли використовувати кількісні показники, виражені в різних вимірювальних шкалах. Можна записати, що вага тіла дорівнює 5 кг, але можна використовувати й інші шкали – 5 000 г або 0,005 т, але можна зазначити інтервал: «вага тіла більша ніж 3 кг і менша ніж 10 кг» або «вага тіла перебуває в межах першого десятка». Замість «750 мм ртутного стовпа» можна записати «1 000 гектопаскалей», а можна зазначити, що «атмосферний тиск вищий за норму».

Поняття «шкала вимірювання», «тип шкали», «допустимі перетворення» є важливими в теорії вимірювань.

10.3. Вимірювальні шкали номінального типу

Найслабшою якісною шкалою є *номінальна шкала* (шкала найменувань, класифікаційна шкала), за якою об'єктам або їх нерозрізненим групам привласнюють певну ознаку. Така ознака дає лише нічим не пов'язані імена об'єктам. Ці значення для

різних об'єктів або збігаються, або розрізняються. Шкали номінального типу *допускають лише розрізнення об'єктів* на основі перевірки виконання відношення рівності на множині цих елементів.

Номінальний тип шкал відповідає найпростішому виду вимірювань, за якого шкальні значення використовуються лише як імена об'єктів.

Прикладами вимірювань у номінальному типі шкал можуть бути номери автомашин, телефонів, коди міст, осіб, об'єктів тощо. Єдиною метою таких вимірювань є *виявлення відмінностей між об'єктами різних класів*.

Особливості шкали найменувань розглянемо на прикладах. Найприродніше використовувати шкалу найменувань у тому разі, коли класифікують дискретні за своєю природою явища (наприклад, різні об'єкти). Для позначення класів можуть бути використані як слова природної мови (наприклад, географічні назви, власні імена людей тощо), довільні символи (герби і прапори держав, емблеми родів військ, різні значки тощо), номери (реєстраційні номери автомобілів, офіційних документів, номери на майках спортсменів), так і їх різні комбінації (наприклад, поштові адреси, екслібриси особистих бібліотек, друку тощо). Всі ці позначення еквівалентні простій нумерації (в деяких країнах людина під час народження одержує номер, під яким він фігурує в державних інформаційних системах все життя), але на практиці часто віддають перевагу іншим позначення (уявіть, що замість імен і прізвищ ваших друзів і знайомих ви повинні будете використовувати номери).

Оскільки позначення класу об'єктів надають у принципі довільно (хоча після надання – однозначно), цю свободу у виборі можна використовувати для зручності.

Так, під час великої і/або нефіксованої кількості класів їх конкретизація спрощується і полегшується, якщо позначення вводять ієрархічно. Прикладом можуть бути поштові адреси: країна – територіальна адміністративна одиниця (республіка, штат, кантон, графство, область) – населений пункт – вулиця – будинок – квартира – адресат. Інший приклад – автомобільні

номери: в їх символіці є позначення як території, так і належності машини (державна або особиста).

Необхідність класифікації виникає і в тому разі, коли класифіковані стани утворюють безперервну множину. Завдання зводиться до попереднього, якщо всю множину розбити на кінцеву кількість підмножин, штучно утворюючи тим самим класи еквівалентності. Після цього належність стану до будь-якого класу знову можна реєструвати в шкалі найменувань. Проте умовність введених класів (не їх шкальних позначень, а самих класів) рано чи пізно проявиться на практиці. Наприклад, виникають складнощі точного перекладу з однієї мови на іншу під час описання колірних відтінків: в англійській мові блакитний, лазурний і синій кольори не розрізняють; не виключено, що англійці інакше бачать світ (наприклад, в одному англійському тлумачному словнику слово «синій» пояснюють як «колір чистого неба, деревного диму, знятого молока, свинцю», а в іншому – як «колір неба або моря, а також речей набагато блідніших або темніших, як дим, віддалені пагорби, місячне світло, синяк»).

Назви хвороб також утворюють шкалу найменувань. Психіатр, ставлячи хворому діагноз «шизофренія», «параноя», «маніакальна депресія» або «психоневроз», використовує номінальну шкалу; і все ж іноді лікарі не дарма згадують, що «потрібно лікувати хворого, а не хворобу»: назва хвороби лише позначає клас, усередині якого насправді є відмінності, оскільки еквівалентність усередині класу має умовний характер.

Розглянемо питання про допустимі операції над даними, які виражені в номінальній шкалі. Підкреслимо ще раз, що позначення класів – це лише символи, навіть якщо для цього використані номери. Номери лише зовні виглядають як числа, але насправді числом не є. Якщо в одного спортсмена на спині номер 4, а іншого – 8, то ніяких інших висновків, крім того, що це – різні учасники змагань, робити не можна: не можна сказати, що другий «у два рази кращий» або що у одного з них форма новіша. До номерів не можна ставитись як до чисел, за винятком визначення їх рівності або нерівності: лише ці відношення

визначені між елементами номінальної шкали. Тому під час оброблення експериментальних даних, зафіксованих у номінальній шкалі, безпосередньо з даними можна виконувати лише операцію перевірки їх збігу або розбіжності.

У тому разі, коли ознака стану, яку спостерігають, має природу, не лише таку, що дає можливість ототожнити стан з одним з класів еквівалентності, а й дає можливість у деякому відношенні порівняти різні класи, для вимірювань можна вибрати більш сильну шкалу за номінальну. Якщо ж не скористатися цим, то ми відмовимося від частини корисної інформації. Проте підсилення вимірювальної шкали залежить від того, які саме відношення між класами існують у дійсності. Це є причиною появи вимірювальних шкал різної сили.

10.4. Шкала порядку

Наступною за силою після номінальної шкали є порядкова шкала (використовують також назву рангова шкала).

Порядкова шкала – це шкала, що класифікує за принципом «більше – менше». Вимірювання в такій шкалі містять інформацію лише про порядок проходження величин, але не дають можливість сказати «наскільки одна величина більша або менша за іншу».

Розглянемо порядкову шкалу на прикладі спортсмена. Найчастіше шкалу порядку використовують там, де результат спортсмена визначають лише зайнятим на змаганнях місцем. Відмінності між спортсменами визначають зайнятими ними в цих змаганнях місцями – першим, другим тощо, які в шкалі порядку називають *рангами*, а саму шкалу – *ранговою*. У такій шкалі складові її числа впорядковані за рангами (тобто за зайнятими місцями), але інтервали між ними виміряти не можна. Навіть якщо експериментальні дані наведені цифрами (шкільні бали, номери місць, які посіли в змаганні, тощо), ці дані не можна розглядати як числа. Над ними не можна виконувати арифметичні операції і взагалі будь-які дії. Наприклад, якщо три спортсмена зайняли відповідно перше, друге і третє місця, то які

відмінності в їх спортивній майстерності, сказати неможливо: другий спортсмен за майстерністю може майже дорівнювати першому, а може бути значно слабкішим і майже дорівнювати третьому.

Шкала порядку дає можливість не лише встановити факт рівності або нерівності вимірюваних об'єктів, а й *визначити характер нерівності* у вигляді таких суджень: «більше – менше», «вище – нижче», «гірше – краще» тощо.

Іншою особливістю порядкових шкал є те, що порядок визначають лише для заданого набору порівнюваних об'єктів, у цих шкал немає загальноприйнятого, а тим більше абсолютного стандарту. Тому за певних умов правомірним є вираз «перший у світі, другий в Європі» – просто чемпіон світу посів друге місце на всеєвропейських змаганнях.

Шкалу порядку застосовують у таких науках, як соціологія, психологія, педагогіка, тобто там, де вимірювання показників не вимагає строгої кількісного оцінювання.

10.5. Модифіковані порядкові шкали

Мабуть, досвід роботи з сильними числовими шкалами і бажання зменшити відносність порядкових шкал, надати їм хоча б зовнішню незалежність від вимірюваних величин спонукають дослідників до різних модифікацій, що надає порядковим шкалам деяке підсилення. Інша важлива причина спроб підсилення шкали полягає в тому, що багато величин, які вимірюються в порядкових (дискретних) шкалах, мають дійсний або мислимий безперервний характер: силу вітрів чи землетрусу, твердість речовини, глибину та міцність знань, оволодіння практичними навичками тощо. Можливість введення між будь-якими двома шкальними значеннями третього значення сприяє тому, щоб спробувати підсилити шкалу.

Все це разом узятє призвело до появи та використання на практиці ряду порядкових шкал. Водночас іноді з одержаними даними починають поводитись як з числами, навіть якщо вироблена модифікація не виводить шкалу з класу порядкових.

Це пов'язане з помилками і неправильними рішеннями. Розглянемо деякі з відомих модифікацій.

Шкала твердості за Моосом (вимірювання твердості методом дряпання). З двох мінералів твердіший той, який залишає на іншому подряпини або вм'ятини під час досить сильного зіткнення. Вираз «А твердіше за В» – типове відношення порядку. У 1811 р. німецький мінералог Карл Фрідріх Крістіан Моос запропонував установити стандартну шкалу твердості, постулюючи лише десять її градацій. За еталони він взяв такі мінерали зі зростаючою твердістю: 1 – тальк, 2 – гіпс, 3 – кальцій, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз. Шкала Мооса встановлює штучно квазіпорядок, оскільки проміжних одиниць градацій твердості ця шкала не має. Градації твердості однаково не мають числового характеру: не можна говорити ні те, що алмаз у два рази твердіший за апатит, ні що різниця в твердості флюориту та гіпсу така сама, як у корунду і кварцу.

Шкала сили вітрів за Бофорт. У 1806 р. англійський гідрограф і картограф адмірал Френсіс Бофорт запропонував бальну шкалу сили вітру, визначаючи її за характером хвилювання моря: 0 – штиль (затишність), 4 – помірний вітер, 6 – сильний вітер, 10 – шторм (буря), 12 – ураган. Крім штилю, градації сили вітрів мають умовний, якісний характер.

Шкала магнітуд землетрусів за Ріхтером. У 1935 році американський сейсмолог Чарльз Френсіс Ріхтер запропонував 12-бальну шкалу для оцінювання енергії сейсмічних хвиль залежно від наслідків проходження їх по даній території. Потім він розвинув метод оцінювання сили землетрусу в епіцентрі за його магнітудою на поверхні землі та в глибині осередку.

Бальні шкали оцінювання знань учнів. Слухаючи відповіді учнів або порівнюючи їх письмові роботи, досвідчений викладач може виявити різницю між ними і встановити, чиї відповіді кращі; це – типове відношення порядку. Методом порівняння можна визначити, хто в класі краще за інших знає даний предмет; складніше, але іноді можливо (це залежить від складу класу) визначити кращого учня в класі. Порівняння

старшокласника з учнем молодших класів за ступенем оволодіння знаннями проблематичне.

У медицині порядковими шкалами є такі: шкала стадій гіпертонічної хвороби (за М'ясниковим), шкала ступенів серцевої недостатності (за Стражесько-Василенко-Лангом), шкала ступеня вираженості коронарної недостатності (за Фогельсоном) тощо. Всі ці шкали побудовані за такою схемою: захворювання не виявлено; перша стадія захворювання; друга стадія; третя стадія тощо. Іноді виділяють стадії 1а, 1б та інші. Кожна стадія має властиву лише їй медичну характеристику. Під час описання груп інвалідності числа використовуються в протилежному порядку: найважчою є перша група інвалідності, потім – друга група, найлегша – третя група інвалідності.

10.6. Шкала інтервалів

Одним з найбільш важливих типів шкал є тип *інтервалів*.

Якщо для певної множини об'єктів можна зазначити відстань між будь-якими двома елементами, виражену в деяких довільних одиницях, то для впорядкування елементів цієї множини використовують інтервальні шкали. Таку шкалу задають введенням початку відліку й одиниці вимірювань, які можуть бути вибрані довільно. Під час використання двох різних шкал вимірювань певному значенню x елемента в одній шкалі відповідає значення y елемента в іншій шкалі таким співвідношенням:

$$y = ax + b, \quad (10.1)$$

де $a > 0$ і b – деяка стала.

Інтервали між двома елементами в одній шкалі будуть у ту саму кількість разів більші, ніж відповідні інтервали в іншій шкалі:

$$y_2 - y_1 = a(x_2 - x_1). \quad (10.2)$$

Відношення інтервалів, виражених у різних шкалах, буде однаковим для будь-якої пари елементів:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = a. \quad (10.3)$$

Прикладами величин, що допускають свободу вибору початку відліку та вимірюються в інтервальних шкалах, є температура, час, координати.

Результати вимірювань за шкалою інтервалів можна обробляти всіма математичними методами, крім обчислення відношень. Самі значення не є справжніми числами і в окремих випадках результати операцій із ними можуть не мати сенсу. Наприклад, неправильно стверджувати, що температура води збільшилася в два рази під час нагрівання її від 10 °С до 20 °С.

Важливою перевагою шкали інтервалів є *можливість переводити результати вимірювань з однієї шкали в іншу*. Переведення однієї інтервальної шкали в іншу здійснюють на основі загальних лінійних перетворень. Так, наприклад, щоб перевести градуси Цельсія (С) в градуси Фаренгейта (F), можна скористатися таким лінійним співвідношенням:

$$F = \frac{9}{5}C + 32. \quad (10.4)$$

Зазначені температурні шкали демонструють нам загальний підхід до побудови шкал рівних інтервалів. *Вибір початку відліку шкали та одиниці вимірювання під час побудови таких шкал виявляється значною мірою довільним*. Так, за шкалою Цельсія за початок відліку встановлена температура замерзання води, а за одиницю вимірювання – одну 1/100 частину різниці між цією температурою і температурою кипіння води. На шкалі Фаренгейта точкою відліку є температура замерзання суміші води, солі та нашатирю, а одиницею вимірювання – 1/96 частина різниці між цією температурою і нормальною температурою тіла людини.

Отже, опорні точки на шкалі інтервалів вибирають довільно, а за одиницю вимірювання вибирають поділ діапазону між ними на рівні інтервали. Кількість саме таких інтервалів повинно бути між опорними точками, дослідник також вибирає довільно.

10.7. Шкала відношень

Якщо на шкалі інтервалів задати або знайти абсолютний нуль, то це помітно підсилить її і забезпечить переведення вимірювань у нову шкалу – шкалу відношень.

Шкала відношень має нульову точку, яка характеризує повну відсутність вимірюваної якості. У шкалах відношень залишаються незмінними відношення числових оцінювань об'єктів. Шкали відношень відображають відношення властивостей об'єктів, тобто у скільки разів властивість одного об'єкта перевершує таку саму властивість іншого об'єкта.

Зв'язок між значеннями вимірів однієї й тієї самої величини x і y у двох різних шкалах відношень є прямо пропорційним:

$$y = ax. \quad (10.5)$$

Відповідно відношення $\frac{y_i}{x_i}$ для будь-якого вимірювання не залежить від обраної шкали.

За допомогою шкал відношень вимірюють масу, довжину, силу, вартість (ціну) та інші характеристики об'єктів, тобто все, що має гіпотетичний абсолютний нуль. Під час визначення маси використовують велику різноманітність числових оцінювань. Вимірюючи в кілограмах, одержуємо одне числове значення, під час вимірювання у фунтах – інше. Але в якій би системі одиниць не відбувалося вимірювання маси, відношення мас будь-яких об'єктів однакове і під час переходу від однієї числової системи до іншої, еквівалентної, не змінюється.

Відомо, наприклад, що ціна товару в різних валютах

матиме різне номінальне значення, проте відношення вартостей товарів буде однаковим під час переходу від однієї валюти до іншої. У цьому і полягає основна особливість шкали відношень.

Завдяки шкалі відношень було визначено, що мураха сильніша за людину, оскільки відношення ваги, яку може підняти мураха, до її власної маси становить 50 разів. Звідси випливає, що мурахи – одні з найсильніших істот на Землі. Якщо людина мала б таку силу як мураха, то людина змогла б потягти по суші авіаносець, а якщо силу коника – то кожен з нас зміг би перестрибувати через футбольне поле або застрибувати собі на балкон.

10.8. Шкала різниць

Якщо в інтервальній шкалі ($y = ax + b$) зафіксувати масштаб a , то вимірювання відбувається в *шкалі різниць*, для якої зв'язок між значеннями вимірів однієї й тієї самої величини x і y у двох різних шкалах різниць має вигляд:

$$y = x + b, \quad (10.6)$$

де b – параметр шкали, який називають *періодом*.

Така шкала допускає операції «рівність – нерівність», «більше – менше», «рівність – нерівність інтервалів» і операцію віднімання, на основі якої *встановлюють величину інтервалу в фіксованому масштабі*. Шкалу різниць іноді називають *циклічною* або *періодичною* шкалою.

До шкали різниць належать логарифмічні шкали, а також процентні та аналогічні їм шкали вимірювань, що задають безрозмірні величини. *Прикладами* вимірювань у шкалах різниць можуть бути вимірювання приросту продукції підприємства (в абсолютних одиницях) у поточному році порівняно з минулим роком, збільшення кількості установ, кількість придбаної техніки за один рік тощо.

10.9. Абсолютна шкала

Абсолютна шкала, результатом вимірювання в якій є число, що виражає кількість елементів у множині. У цій шкалі *початок відліку та одиниці вимірювання є незмінними*. Числа, одержані за такою шкалою, можна складати, віднімати, ділити, множити – всі ці дії будуть осмисленими.

З перелічених шкал абсолютна шкала є найбільш «сильною», а номінальна – «найслабшою». Дійсно, з абсолютних даних можна дізнатися все те, що можуть дати будь-які інші шкали, але не навпаки. З того, що в групі А – 15 студентів, в групі В – 20, а в групі С – 30 студентів, можна дізнатися, що:

1) у групі А студентів в 2 рази менше, ніж у групі С (шкала відношень);

2) у групі В студентів на 10 осіб менше, ніж у С (шкала інтервалів);

3) у групі А студентів просто менше, ніж у В і С (шкала порядку);

4) у групах А, В, С студентів не однаково (шкала найменувань).

Використовувати лише абсолютні шкали не завжди доцільно. Для одержання інформації про властивості в сильних шкалах потрібні більш досконалі (складні, дорогі) вимірювальні прилади та процедури. До того ж, таких приладів і процедур для вимірювання багатьох характеристик просто немає. Наприклад, можна з'ясувати, чого ця людина бажає більше – чаю або кави, але визначити, на скільки більше або у скільки разів вона цього хоче, важко.

ТЕМА 11. РОЛЬ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В НАУЦІ ТА НА ПРАКТИЦІ

11.1. Основні напрямки та функції системності в науці

Системна методологія містить у собі системний підхід як принцип пізнання й практики, метод діяльності та теорію. Маючи великий потенціал, системну методологію широко застосовують у сучасній науці (природничі, технічні, суспільні науки, науки про людину).

Нині відбувається інтенсивна інтеграція наук, які вивчають об'єкти різної природи, але використовують загальні методологічні підходи, методи і навіть методичні прийоми. На цьому наголошував Валерій Павлович Кохановський (1939–2005): «Один з найважливіших шляхів взаємодії наук – це взаємообмін методами і прийомами дослідження, тобто застосування методів одних наук в інших».

Системний підхід – специфічна реакція на бурхливий і тривалий процес диференціації в науці, який привів до виникнення величезної кількості несхожих одна на іншу наук. Це те, що об'єднує окремі науки в єдину науку, форма методологічної інтеграції сучасної науки. Нові відкриття в межах конкретних наук досить швидко стають надбанням всієї науки. Системний підхід – єдність методологічної інтеграції і диференціації під час домінування тенденції об'єднання, збирання методологічного комплексу.

Водночас цьому системний підхід виконує найрізноманітніші функції в науці. Найбільш важливими серед таких функцій є *світоглядна, евристична, пояснювальна, методологічна та прогностична* функції (табл. 11.1).

Нині неможливо уявити жодного вченого, який не мав би власного *системного світогляду*. Системний світогляд забезпечує інтелектуальні та соціально-психологічні передумови для пізнання. Ще до пізнавального акту вчений завдяки своєму світогляду забезпечує собі успіх в осягненні істинності об'єкта, бо він підходить до нього як до системи.

Таблиця 11.1 – Функції системної методології в науці

Назва	Характеристика
Світоглядна	Є основою світогляду людини
Евристична	Є інструментом наукового відкриття
Пояснювальна	Пояснює об'єкти та процеси природи та суспільства
Методологічна	Є системою методів одержання знань про ті або інші об'єкти та процеси
Прогностична	Дає можливість будувати прогнози розвитку систем

Але обмежені знання фахівців і нехтування системним світоглядом призводить до виникнення складнощів вирішення сучасних завдань. До найбільш важливих *проблем системного світогляду* сучасних фахівців можна віднести такі:

- недостатню глибину системних поглядів, яка виражається в тому, що фахівець має навіть не наукове, а повсякденне детерміністське розуміння природи систем;

- низьку ерудицію в сфері системних ідей, незнання здобутків системності в своїй галузі та науці взагалі;

- неметодологічність системного світогляду, коли фахівець не може застосувати системні знання як метод пізнавальної та практичної діяльності. У практиці наукових досліджень системний підхід важливий не лише парадигмальністю, а і методологічністю, тобто використанням його не стільки як способу уявлення світу, а як методу його пізнання. У цьому і полягає його методологічна функція, коли системність у пізнавальному процесі працює як принцип, метод і теорія;

- розрив між філософським, теоретичним і математико-кібернетичним розумінням систем. Зазвичай фахівець, який знає філософію систем, через свою гуманітарну підготовку не має знань із кібернетики та математики систем, а фахівці технічного профілю не піднімаються до рівня загальносистемних ідей.

Потрібно підкреслити, що в практиці наукових досліджень спостерігається швидке зростання культури системних

досліджень, що містять у собі не лише знання з загальної теорії систем, а й інструментальне володіння системним підходом, системним аналізом. Якщо ще декілька років тому згадка в статті слова «система» і трактування його в сенсі комплексності робило публікацію системною, то нині досить широко використовують структурний, функціональний, структурно-функціональний, системно-логічний та інші підходи, виробляється специфіка застосування системних ідей у різних сферах практичної діяльності: в бізнесі, державному управлінні, соціальному захисті, культурі тощо.

Важливе призначення системного підходу полягає в пізнанні, в одержанні істини, тобто знання, яке відповідає своєму предмету та збігається з ним. Особливість системного підходу в системному дослідженні полягає в наведенні цілісної, універсальної та багатовимірної картини дійсності.

Евристика являє собою сферу наукового знання, мета якої – відкриття нового в науці, техніці та інших сферах життя. Вона полегшує і спрощує вирішення пізнавальних, конструкторських, практичних завдань. Евристика спирається на методи теорії пізнання, синтезу знання і дослідження несвідомого: натхнення, інсайту, осяяння, медитації, «мозкового штурму», стикається з творчістю, досліджує її механізми, спонукає в реальній діяльності.

Розглянемо *евристичну функцію* системного підходу. Насамперед, відзначимо, що системний підхід є міжгалузевим евристичним методом, тобто його широко застосовують у всіх галузях науки і практичної діяльності. Для такого методу властива висока гнучкість і здатність пристосовуватися до накопиченого в тій чи іншій науці знання і дослідницької традиції. До того ж він є раціональним евристичним методом, який не лише сприяє осяянню, інсайту, а і дає можливість побудувати технологію одержання нового знання і навести його в найбільш зручній системній формі. Евристична роль системного підходу часто полягає в тому, що він дає можливість вбачати прогалини в знаннях про даний об'єкт, виявляти їх неповноту, визначати завдання наукових досліджень, а в

окремих випадках (шляхом інтерполяції й екстраполяції), передбачати властивості відсутніх частин опису. Так, якщо дослідник визначив системні характеристики деякого об'єкта, то далі системний підхід від нього потребує аналізу структури і функцій системи. Варто лише досліднику взяти на озброєння системний підхід і застосувати будь-яку його складову, як неминуче починає розгортатися його цілісна і різноманітна логіка, виникають питання до об'єкта як до системи, які не можна залишити без відповіді.

Системне мислення є потужним джерелом гіпотез – припущень про ті чи інші сторони, властивості, зв'язки об'єктів. Саме гіпотетичне знання про системи є дуже різноманітним. Дослідник може висунути відносно прості гіпотези про межі, склад, структуру, організацію, функції, особливості розвитку системи. Доречні також і більш складні складові гіпотези, що допускають наявність зв'язку між структурою і функціями, організацією і властивостями тощо. Потік системних гіпотез створює сприятливі можливості для пояснення об'єктів і процесів.

Пояснювальна функція системної методології полягає в тому, що вона дає можливість виявляти стійкі, сутнісні та невідповідні залежності, тобто закономірності. Часто пояснення зводять до виявлення причин. Системне пояснення є особливим видом пояснення, яке будується не на причинно-наслідкових зв'язках, а на системних закономірностях. Водночас воно може бути реалізоване як за індуктивною, так і за дедуктивною моделями. Водночас гіпотетико-дедуктивне пояснення базується на висуненні науково обґрунтованих гіпотез і їх емпіричній перевірці. А індуктивне пояснення зводиться до збирання емпіричної інформації про систему та її узагальнення. Кожна з цих моделей характеризується тим, що має сукупність феноменів, які підлягають поясненню, – сукупність пропозицій теорії, тобто законів і гіпотез, які є основою пояснення. У таких моделях пояснення спираються на системні уявлення та закономірності.

Прогностична функція системності відрізняється від

функції пояснення тим, що тут немає знання-результату, яке під час прогнозування потрібно одержати. Прогностична функція реалізується декількома методами. По-перше, завдяки теорії еволюції систем, що проходять загальні етапи розвитку, вдається зібрати інформацію про феномени, які не існують у даний момент, але виникнуть завдяки просторово-часовому розвитку системи. По-друге, системні ідеї досить широко застосовують моделі хвильової та циклічної динаміки для передбачення майбутнього систем, їх впливів на довкілля. Наприклад, досить ефективною для прогнозування економічної кон'юнктури є теорія хвиль видатного економіста Миколи Дмитровича Кондратьєва (1892–1938), який створив на початку 20-х років ХХ ст. теорію довгих хвиль з періодом 45–55 років, які обумовлені впровадженням технічних винаходів, розвитком нових галузей промисловості. Хвильові та циклічні процеси властиві для всіх різновидів систем. Пошук, обґрунтування і розрахунок довжини хвилі або тривалості циклу дає можливість передбачити майбутнє системи.

11.2. Системні закони та їх роль у пізнанні

Роль системної ментальності, системної методології буде, безсумнівно, зростати в життєдіяльності людини ХХІ ст. Процес обумовлений швидким зростанням потенціалу системності, накопиченням значних обсягів знання про системи, відточуванням тонкого й ефективного інструментарію досліджень. Зрозуміло, що кожна епоха буде призводити до актуалізації тих чи інших положень теорії систем, забезпечувати ревізію й інтеграцію системного знання, як це відбувається зараз, коли оновлюються системні ідеї в світлі посткласичної і постнекласичної методологій.

Роль системності в методології науки важко переоцінити. Практично всі значні досягнення наук із другої половини ХХ ст. більшою чи меншою мірою пов'язані з системною методологією. Системний підхід цінний насамперед тим, що він формулює загальносистемні закони, які вловлюють залежності

між окремими сторонами і властивостями систем. Підкреслимо, що системні закони мають загальносистемний характер, тобто вони властиві для систем будь-якої природи. Серед цих загальносистемних законів доцільно виділити такі:

– *закон співвідношення цілого і частини* – система як ціле більша за суму складових її частин. Цей закон впливає з твердження стародавніх мислителів про те, що ціле більше за його частини;

– *закон сукупних властивостей системи, або закон емерджентності* – властивості системи не зводяться до властивостей її елементів, а є результатом їх інтеграції;

– *закон залежності властивостей системи* не лише від властивостей складових елементів, а і від взаємозв'язків між ними. Інше трактування цього закону таке: дві системи, що містять тотожні елементи, можуть бути несхожими за властивостями завдяки відмінності в характері та архітектоніці зв'язків;

– *закон взаємозв'язку структури і функції*, що полягає в констатації взаємозумовленості структури і функції системи;

– *закон функціональної цілісності системи* констатує функціональну інтеграцію елементів у функції системи;

– *закон простоти і складності системи*, згідно з яким, чим простіша система, чим з меншої кількості елементів і зв'язків вона складається, тим менше проявляє вона системну якість, а чим складніша система, тим більш несхожим є її системний ефект порівняно з властивостями кожного елемента;

– *закон обмеження різноманітності системи* В. Р. Ешбі, який говорив про те, що організовані системи відрізняються обмеженням різноманітності;

– *закон закритих систем* – закриті системи підкоряються другому закону термодинаміки і прагнуть до максимальної неупорядкованості;

– *закон відкритих систем* – відкриті системи завдяки введенню негентропії можуть зберігати високий рівень організованості і розвиватися в напрямку збільшення порядку і складності;

– *закон взаємозв'язку складності системи та її стійкості*, який говорить про те, що ускладнення систем приводить до набуття системою додаткової стійкості. Чим складніша система, тим вона менш стійка. Але для того щоб не руйнуватися, система змушена знаходити додаткові джерела стійкості;

– *закон рівноваги системи*, який констатує, що лише тоді система перебуває в рівновазі, коли кожний її елемент перебуває в стані рівноваги, що визначається іншими елементами;

– *закон різноманітності* (плуралізму) *системних уявлень*, згідно з яким цілісність системи ніколи не може бути зведена лише до однієї її моделі. За додаткових пошуків обов'язково знайдеться така модель системи, яка буде не схожою на попередню модель;

– *закон адаптації систем*, який стверджує, що чим вища адаптивність системи, тим вона має більшу ймовірність втратити свою ідентичність;

– *закон розвитку системи*, згідно з яким розвиток системи здійснюється не завдяки зміцненню елементів і зв'язків, а за допомогою виникнення зон неупорядкованості, хаосу, які формують точки біфуркації, перехід через які виводить систему на новий рівень впорядкованості;

– *закон продуктивності хаосу*, який вважає, що будь-яка об'єктивна неупорядкованість, будь-який реальний хаос містять в собі елементи і навіть осередки самоорганізації.

Названий список законів не можна вважати вичерпним. Їх аналіз показав, що обґрунтування системних законів являє собою процес, який лише набирає силу в сучасній науці і буде відбуватися за такими *напрямами*:

– обґрунтування загальносистемних законів, що пояснюють системи незалежно від їх природи;

– формулювання законів систем певної природи та їх осмислення в світлі системності;

– пошук закономірностей системного мислення, аналізу, пізнання.

11.3. Основні системні ідеї в практичному житті

Системний підхід набуває все більш широкого застосування в діяльності людей, виявляючи високу ефективність в техніці та технології, економіці та підприємстві, політиці та соціальній сфері, культурі та ідеології. У практичному житті суспільства використовують декілька *трактувань системного підходу*: повсякденне, філософське, кібернетичне, аналітичне, математичне та конструкторське трактування.

Повсякденне трактування являє собою сукупність думок і суджень людини, застосовуваних у повсякденному житті щодо тих чи інших об'єктів природи і суспільства. Найчастіше люди вживають поняття системи щодо до мислення та діяльності («система мислення», «система роботи», «система тренувань» тощо). Ефективність повсякденного застосування системності як не викликає особливих заперечень, так і не має переконливих доведень. Використання цього поняття є різним для кожної людини і залежить від її освіти та діяльності. Так, люди з технічною освітою частіше використовують системність для позначення предметно-діяльнісних систем, а люди з гуманітарною освітою застосовують її для позначення різних інтелектуальних систем.

Філософське використання системних ідей містить у собі не лише розширення і зміцнення позицій системності за одну з базових філософських методологій, а й за деяку світоглядну систему, що має здатність відображення, пояснення і зміни дійсності. Зараз можна говорити про системний світогляд як найважливішу складову світоглядної та розумової культури людини.

Системна парадигма, системна ментальність, здатність до систематизації, володіння системним аналізом все частіше стають затребуваними професійними якостями. Варто підкреслити, що запит на фахівців, які володіють ними, все менше задовольняє ринок інтелектуальної праці. Водночас цьому велика потреба виникла не лише в «чистих системниках»,

а і у фахівцях у самих різних сферах, які володіють системними методами. Наприклад, одна з сфер, де затребувані інтелектуали, – виборчі технології. Тут знаходять собі заняття і непоганий заробіток організатори виборчих кампаній, політтехнологи і фахівці в галузі Public Relations, іміджелогії. Проте більшість з них не володіють системним підходом, не відрізняються системною ментальністю, що і призводить досить часто до слабкої системної обґрунтованості запропонованих заходів у процесі передвиборної боротьби.

Кібернетичне розуміння системного підходу широко застосовується в інженерній діяльності, фахівцями в управлінні технічними, виробничими, економічними та соціальними системами, відрізняється чіткістю і зводиться до кількох ідей формального наведення системи та її взаємозв'язку з середовищем.

Особливо значуще застосування системного підходу в конструюванні, моделюванні та управлінні.

У конструюванні систем різної природи застосовують *конструкторське трактування* системного підходу. Воно є дуже ефективним під час конструювання не лише технічних, а і політичних, соціальних систем, під час створення інтелектуального продукту. Важливе значення має системна ментальність, що базується на принципах відкритих, дисипативних систем. Особливо небезпечні для практики конструювання механічний і жорстко детерміністичний підходи. Не можна обійтися без пошуку гармонії між управлінням і самоврядуванням, централізацією і децентралізацією. Зауважимо, що ще в недавні часи спостерігалися перепади щодо співвідношення цих принципів. За соціалізму віддавали перевагу управлінню і централізації порівняно з самоврядуванням і децентралізацією. На початку 1990–2000 років віддавали перевагу самоврядуванню та децентралізації. Проте практика нашого часу зажадала пошуку оптимального співвідношення між цими полярними полюсами системного світогляду.

Наростання технологічної, економічної, соціальної та

духовної різноманітності в сучасному суспільстві на фоні зростання впливу людського фактору висуває необхідність створення індивідуальних моделей управління системами. Управлінський консультант, фахівець в галузі антикризового управління, інноваційного менеджменту, ринкового консалтингу стають ключовими фігурами забезпечення підприємницького успіху, який, у кінцевому підсумку, пояснюється створенням фірмової моделі ефективного управління.

Діяльність людини, яка приймає рішення, вимагає системно-структурних уявлень, які містять у собі такі складові частини *аналізу*:

- системний аналіз об'єкта діяльності, виділення його складових, структури, функцій, цілей;
- визначення проблеми, що вимагає вирішення;
- з'ясування мети системи, яка полягає в подоланні проблеми, досягненні рівноваги;
- декомпозицію мети до простих завдань;
- аналіз ресурсів (фінансових, матеріальних, кадрових, часових, інформаційних тощо).

Аналіз ресурсів передбачає *такі операції*:

- а) аналіз необхідного ресурсного забезпечення завдань;
- б) аналіз наявних ресурсів, які можуть бути використані для вирішення завдань;
- в) обґрунтування реального ресурсного забезпечення завдань;
- г) розроблення управлінського рішення (сукупності заходів для вирішення проблеми), операційної моделі управлінського рішення, операцій із реалізації рішення в практику, операцій контролю і регулювання системи.

Математичне трактування системного підходу має досить вузьку соціальну базу, властиву для фахівців у різних галузях кібернетики і прикладної математики.

Можна виділити *три види діяльності*, в яких широко застосовують системність: інформаційна, інженерна та практична (рис. 11.1).

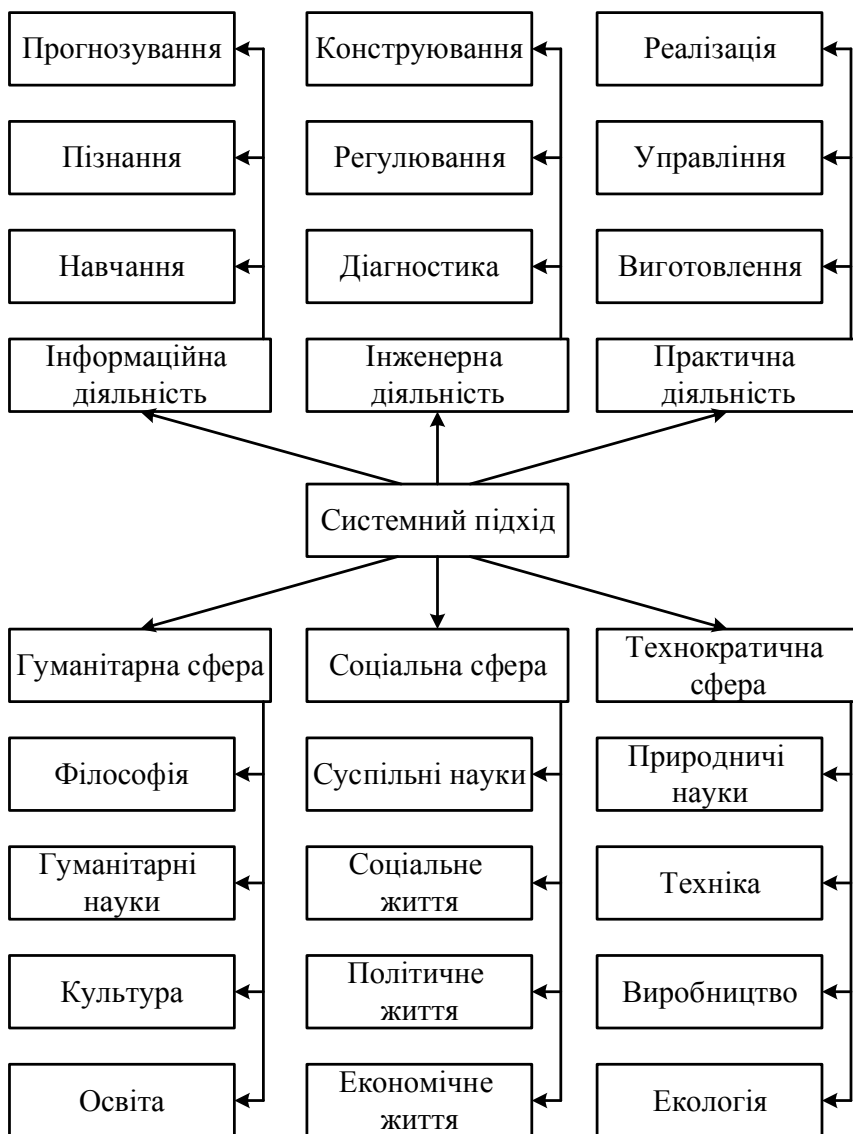


Рисунок 11.1 – Системний підхід у практичному житті суспільства

Інформаційна діяльність пов'язана з навчанням, пізнавальною діяльністю та прогнозуванням, тобто одержанням, переробленням передаванням інформації. Вона підтримується об'єктивним розвитком суспільства, його входженням в інформаційну цивілізацію, яку можна охарактеризувати такими процесами:

– зростанням обсягу інформації, який подвоюється кожні 20 місяців, та інтенсифікацією інформаційних процесів. На думку Ріфгата Фаїзовича Абдеева (1926–2019) *основними складовими інформації* є такі:

- 1) неухильне зростання швидкості передачі повідомлень;
- 2) збільшення обсягу переданої інформації;
- 3) прискорення оброблення;
- 4) більш повне використання зворотних зв'язків;
- 5) збільшення обсягу нової інформації і прискорення її впровадження;
- 6) наочне відображення інформації в процесі управління;
- 7) зростання технічної оснащеності управлінської праці;

– перетворенням інформації в об'єкт і предмет діяльності основної частини населення, яке поступово витісняється з матеріальної сфери діяльності у віртуальний інформаційний простір;

– зміною природи соціальних інститутів, відносин, організацій і систем. Вони стають інформаційними, віртуальними, кардинально перетворюються, втрачають одні функції і набувають інших;

– інтенсивним розвитком інформаційного простору, який заповнюється інформаційними системами і процесами. Цей простір стає простором головної сутності людини;

– підсиленням динаміки соціального життя, яке призводить до того, що підсилюється перехідний нестационарний характер соціальних систем.

Інженерна діяльність містить у собі діагностику, конструювання та регулювання. В інженерній діяльності системні уявлення, що пов'язані зі структурою, організацією і функціями, визначають концептуальний контур інженерного

конструювання. Регулятивні та діагностичні процеси, які здійснює інженер, також базуються на системному підході. Водночас використовуються системні моделі, системи нормативів і вимог до діагностики та регулювання.

Інженерна діяльність може бути технічною, спрямованою на створення технічних систем, і соціальною, метою якої є робота з соціальними системами. Соціальний інженер виконує дуже важливі функції в суспільстві: діагностує, конструює соціальні системи, «виправляє» і «лікує» їх, відновлює рівновагу індивіда із середовищем, приводить у відповідність до умов, що змінилися, і цінностей життя людей. Потрібно підкреслити, що соціальна інженерія – це перспективна сфера діяльності людей, яка зараз перебуває на етапі свого становлення. Термін «соціальна інженерія» вперше ввів в обіг американський соціолог права Роско Паунд. На рівні управління промисловим підприємством основи «соціальної інженерії» заклав Олексій Капітонович Гастев. У 20-ті роки ХХ ст. сформувалася система наукової організації праці (НОП), що вирішувала інженерні проблеми галузі наукової організації праці. Отже, соціальна інженерія була тісно пов'язана з технічною інженерною діяльністю. Термін «соціальна інженерія» з середини 30-х до середини 60-х років не вживався в світі, хоча ті перетворення соціальних об'єктів відповідали її суті, але здійснювалися під патронажем управління. Розвиток соціальної інженерії за самостійну галузь знання почався лише в 80-ті роки ХХ ст., а за практичну діяльність у поставторитарних країнах – із початку 90-х років ХХ ст. і раніше на півтора-два десятиліття в розвинених країнах.

Практична діяльність підпорядкована суто прагматичним запитам людей. Вона інтегрує в собі виробництво, управління і реалізацію. Системний підхід тут застосовують із різним ступенем повноти. В інформаційній діяльності людині доводиться працювати з інформаційними системами. У навчанні системний підхід є одним із найважливіших принципів організації навчального процесу, а також деякими знаннями, методами і навичками розумової діяльності, які намагається

закласти сучасна освіта. В пізнанні системність – це принцип, і ціле сімейство методів наукового пізнання і накопичення знань про системи самої різної природи. Тут є різні варіації системного знання залежно від природи систем і сформованих пізнавальних парадигм.

Практична діяльність меншою мірою пов'язана з системністю, ніж інформаційна та інженерна, оскільки в ній діють налагоджені виробничі та соціальні системи, наприклад виробляють та реалізують товари народного споживання або соціальні послуги.

За іншого підходу можна виділити *гуманітарну, соціальну* і *технократичну* сфери і відповідно власні трактування системного підходу. Водночас системність найбільш широко застосовують в *філософії*, яка відрізняється широким спектром визнання сили системного підходу від розуміння його лише за принцип пізнання або методологічний комплекс до визнання його як загальну властивість матерії. Серед гуманітарних наук, які неможливо уявити без системного підходу, можна виділити такі: логіку, лінгвістику, психологію, педагогіку, історичні науки тощо. Гуманітарні науки належать до найбільш повільно освоюваної системними ідеями сфери.

Для *педагогіки* системні методи є просто знахідкою. Вони дають можливість навести навчальну інформацію в активному для сприйняття і запам'ятовування вигляді, дати більш цілісний опис предмета науки.

У *психологічну науку* системні ідеї увійшли завдяки дослідженням Бориса Герасимовича Ананьєва, Петра Кузьмича Анохіна, українського психолога Костянтина Костянтиновича Платонова та ін. Психіка людини – складний об'єкт, знання про який накопичувалися впродовж тисячоліть. Вона має таку низку *специфічних особливостей*, які виділяють її серед явищ реального світу і ускладнюють її вивчення і цілісний опис:

1) поліфункціональність і поліструктурність психіки, «перетин» функцій і структур, складність визначення структур, що реалізують конкретну функцію;

2) велику рухливість, мінливість «вектору» свідомості;

3) розподіл у просторі і «розмиття» кордонів психічних явищ;

4) недоступність для безпосереднього спостереження внутрішніх процесів і механізмів психічних явищ;

5) високу адаптивність психіки.

Як зазначає Володимир Олександрович Ганзен: «У психології системний підхід дає можливість інтегрувати і систематизувати накопичені знання, долати їх зайву надмірність, знаходити інваріанти психологічних описів, уникати недоліків локального підходу, підвищувати ефективність системних досліджень і процесу навчання, формулювати нові наукові гіпотези, створювати системні описи психічних явищ».

Досить впливові системні ідеї в *освіті*, де застосовують різні освітні системи, системне уявлення предметного знання, вживання понятійного апарату загальної теорії систем, формування навичок системного підходу та системної аналітики. Особливо повільно проникають системні ідеї в *культуру*.

Соціальна транскрипція системності пов'язана із застосуванням її в *соціології*, *економічній науці* та *політології*. Всі три науки оперують поняттями відповідно соціальна, економічна і політична системи, використовують системність як метод пізнання і моделювання. Найбільш важливі проблеми практичного життя суспільства такі:

– формування ринкової економіки, що забезпечує взаємодію та реалізацію інтересів різних суб'єктів: власників, виробників, споживачів, індивідів, колективів, суспільства і держави;

– становлення соціальної системи суспільства, що містить організацію соціального життя, соціальний захист населення, соціалізацію індивідів, їх адаптацію та розвиток;

– розвиток політичної системи суспільства, що об'єднує правову державу, багатопартійну систему, демократію. Водночас особливо важливим є широке впровадження системного підходу в державне управління. Можна погодитися з

українськими вченими Ніною Романівною Нижник та Олегом Адальбертовичем Машковим в тому, що роль і значення системного підходу не обмежуються сферою державного управління, бо саме державне управління є атрибутом системи і всі процеси управління – це процеси взаємозв'язку систем і їх компонентів. Підхід особливо ефективний у стратегічному плануванні та управлінні, аналізі державної політики, створенні законів, розробленні та реалізації політичних реформ.

Нарешті, найбільш розвиненим трактуванням системності є *технократичне* трактування, для якого властивий кількісний, математизований системний підхід, який застосовують під час конструювання технічних зразків, налагодження виробництва. В *екології* одержують значний розвиток ідеї рівноваги екологічних систем, сталого розвитку, збереження балансів тощо.

11.4. Системність і майбутнє

Винятковим є значення системності в прогнозуванні розвитку систем і процесів. Системний метод є одним із базових методів прогнозування. У фактографічних методах прогнозування (фактографічний та статистичний методи, прогнозна екстраполяція, історична та математична аналогії тощо) системність наявна у вигляді системи фактів, необхідної і достатньої для прогнозного висновку, а в експертних методах прогнозування (експертний, матричний, дельфійський методи тощо) – у вигляді системи оцінювань. Прогностичну роль системних уявлень часто зводять до моделювання стану системи на різних етапах її розвитку. За побудови трендових моделей, які виявлятимуть залежність прогнозованого показника від часу, принципово важливим є структурний аналіз моделі системи і можливих факторів середовища, які можуть порушити цю функцію за допомогою якісної зміни системи.

Значення системності в різних її аспектах у майбутньому, безсумнівно, буде зростати. Людство починає відчувати системність у всіх аспектах своєї діяльності. Насамперед, це стосується планетарного аспекту. На початку XXI ст., коли

людство не лише освоїло практично всю Землю, а й почало збирати гіркий урожай у вигляді екологічних, кліматичних, техногенних та інших катастроф, неминуче має настати розуміння нескінченності планети і вседозволеності дій людей. Без цього розуміння людство втратить своє майбутнє. Його чекатиме лише один результат – безодня. Лише системне бачення світу, свого місця в ньому, розуміння того, що будь-яке ціле: і людське життя, і планета легко втрачають свою системну цілісність, втративши важливі елементи і зв'язки. Можливо ще не загинув той метелик, описаний американським письменником-фантастом і мислителем Реєм Бредбері, який був на початку ланцюга, що веде до загибелі світу?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / Ю. П. Сурмин. – Киев : МАУП, 2003. – 368 с.
2. Павлов С. Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / С. Н. Павлов. – Томск : Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. – 134 с.
3. Чернышов В. Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / В. Н. Чернышов, А. В. Чернышов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.
4. Лаврушина Е. Г. Теория систем и системный анализ: практикум / Е. Г. Лаврушина, Н. Л. Слугина. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС, 2007. – 100 с.
5. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: ТЗЗ Справочник: учеб. пособие / под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. – Москва : Финансы и статистика, 2006. – 848 с: ил.
6. Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ: учебник для академического бакалаврата / В. Н. Волкова и А. А. Денисов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2014 – 616 с.
7. Горбань О. М. Основи теорії систем і системного аналізу: навчальний посібник / О. М. Горбань, В. Є. Бахрушин. – Запоріжжя : ГУ «ЗІДМУ», 2004. – 204 с.

Додаток А
(обов'язковий)
ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ

Практичному життю людей, безсумнівно, належить провідна роль у формуванні масових системних уявлень. Людина або стикалася з системами, або створювала їх, або піддавала їх нещадним руйнуванням. Відомі єгипетські піраміди, іригаційні системи Стародавнього Китаю відкривають величезні списки найскладніших споруд давнини. Принципи цілісності та пропорційності, врахування впливу на рукотворний об'єкт різноманітних факторів довкілля широко застосовувалися в будівництві, торгівлі, військовій справі та інших галузях. Практика весь час вимагала додержання цих принципів. Класичним прикладом недооцінювання зовнішніх факторів, що впливають на систему, є одне з семи чудес світу – 40-метрова статуя бога сонця Геліоса, споруджена на вході в гавань острова Родос, так званий Колос Родоський. Вона простояла 50 років (деякі дослідники називають більш точну цифру – 66 років) і обвалилася під час землетрусу в 225 р. до н. е. Найуразливішим місцем виявилися коліна – вище колін статуя зігнулася Отже, що голова і плечі уперлись у землю. Уламки майже 1 000 років лежали на березі бухти уроком порушення принципу системності, закріпивши в свідомості людей сентенцію «Колос на глиняних ногах».

Найважливішими *факторами у практичному житті*, які впливали на формування системного ставлення до дійсності, були такі:

– ускладнення і зростання різноманітності людської діяльності та її продуктів. Все більш складні і взаємозв'язані знаряддя та результати праці, його організація змушували замислюватися про ціле та частини, гармонію взаємодій між ними. Перехід від простої гарматної діяльності до машинного виробництва, а від нього – до системно-технічного розвитку нарощував практичний ефект від системності;

– проникнення системних ідей в усі види професійної діяльності. Кожна професія починає оперувати певною системою знань, умінь і навичок, які періодично оновлюють, залежно від наукових, технічних і виробничих революцій, що відбуваються в суспільстві;

– наростання системності в освіті людей. Освіта в стародавніх суспільствах передбачала навчання людини всьому зводу знань. У міру зростання та диференціації знань освіта почала тією чи іншою мірою вирішувати протиріччя між системами наявних професійних знань. У сучасній освіті системність є не лише характеристикою цілісності та достатності знань, а й методом їх одержання.

Ідеї системності в методологічному контексті траплялися ще в *стародавніх* суспільствах. Геніальними є здогадки античних філософів про системність світу. Так, Анаксагор (близько 500–428 р. до н. е.) широко використовував два постулати: «все у всьому» і «з усього – все», які в зародковому вигляді вловлюють системні закони, які будуть відкриті лише в ХХ ст. Демокріт з Абдер (близько 470 – 360 р. до н. е.) висунув ідею атомної будови, взаємозв'язку.

Найчастіше в стародавній філософії використовували термін «ціле». Давньоримський філософ і оратор Марк Туллій Цицерон (106 – 43 р. до н. е.) неодноразово підкреслював, що світовий організм є нерозривним цілим і всі елементи світобудови гармонійно пов'язані між собою. У трактаті «Про природу богів» він писав: «... гідне найбільшого захоплення те, що світ настільки стійкий і являє собою нерозривне ціле, настільки пристосоване до збереження свого існування, що більш пристосованого неможливо й уявити собі».

Проте системні ідеї в стародавньому світі мали епізодичний характер. Поняття «система» вживалося нечасто. Так, Епікур (341–270 р. до н. е.) застосовував це поняття для характеристики системи знань. Найчастіше це поняття використовували для позначення космосу, світового порядку, загальної організованості Всесвіту. Водночас вселенський

порядок розглядали як божественний порядок, тобто заданий богами, або як природний порядок, властивий спочатку всьому.

Пізніше під системою почали розуміти складну філософську систему, яка пояснює все існуюче. Такий внесок у системність зробив великий філософ давнини Аристотель (384–322 р. до н. е.). Він створив першу філософську систему, в якій систематизував знання античного світу. Найважливішою складовою світогляду Аристотеля є вчення про космос, який він сприймав як «порядок», «гармонію», «закономірний Всесвіт». Основну свою заслугу в розумінні космосу він бачив у тому, що першим перестав «породжувати Всесвіт», змінив акцент її тлумачення з генетичного підходу на структурний підхід.

У формуванні основних категорій філософії системного бачення світу важливого значення набула середньовічна філософія, яка виконала величезну інтелектуальну роботу у виробленні категорій «цілісність», «частина» і «ціле». Виснажливі схоластичні суперечки середньовічних філософів і теологів, їх намагання систематизувати християнське вчення в чималому ступені сприяли відкриттям ряду філософських категорій, гносеологічному осмисленню цілісності.

Ідеї системності одержали особливо інтенсивного розвитку в епоху *Відродження*, коли почав відроджуватися на новій основі світогляд цілісного сприйняття людиною дійсності. Єдність і цілісність природи – основна теза філософських доктрин цієї дивовижної епохи. Життєлюбні фігури людей на фоні ідеально опрацьованих пейзажів вселенського типу на портретах майстрів цієї епохи – це істотна ознака підсилення системного бачення світу, підлеглого людським інтересам.

У філософських роботах *нового часу* робилася спроба надання поняттю «система» чіткості та прив'язки його до певної галузі знання. Під системою тоді розуміли найчастіше систему знання. Іммануїл Кант (1724–1804) цим поняттям користувався досить вільно. Його можна по праву вважати творцем двох систем: філософської та космологічної. У роботі «Загальна природна історія і теорія неба» він застосував це поняття до космічних утворень і тим самим онтологізував його. Разом з тим

він вжив це поняття і в гносеологічному сенсі, розуміючи під системою єдність різноманітних знань, пов'язаних спільною ідеєю.

Видатний німецький філософ, представник класичного іdealізму Йоганн Готліб Фіхте (1762–1814) передумовою практичної філософії вважав науково розроблену теоретичну систему, науку про науку, розвинув систему категорій буття і мислення, як метод пізнання бачив суб'єктивну інтелектуальну інтуїцію. Він розробив проєкт будови німецького буржуазного суспільства в формі «замкненої торгової держави». Філософ визнавав системність наукового знання, але зводив її до системності форми, а не змісту.

Збагаченню категорії «система» в чималому ступені сприяв Георг Гегель (1770–1831). Система як філософська категорія не була у нього предметом розгляду. Проте, будь-який предмет, до якого він звертався, розкривався йому як органічна цілісність, що розвивається і проходить деякі етапи життя. Водночас об'єктивний іdealізм Гегеля наклав відбиток і на системність, що виступала у нього як деяка властивість ідеї, що рухається. Водночас, Гегель досить чітко розумів систему, що розвиває всередині себе цілісність, пов'язував системність із саморухом, застосовував цю категорію до об'єктів природи, суспільства і до знання.

Безсумнівний внесок у розуміння природи систем, особливо соціальних, внесли такі великі *утопісти-соціалісти*:

– Франсуа Марі Шарль Фур'є (1772–1837) обґрунтував ідею взаємозв'язку і гармонії соціальних систем;

– Клод Анрі Сен-Сімон (1760–1825) розвинув ідеї інтеграції соціальних систем, виступив засновником європейської інтеграції;

– Роберт Оуен (1771–1858) – видатний організатор і раціоналізатор виробництва, зробив спробу організації та проведення експерименту з перевірки товариства, побудованого на принципах соціальної справедливості.

Всі утопісти, починаючи з Платона, обґрунтовували ідеї проєктування і конструювання соціальних систем.

Заслуга Карла Маркса (1818–1883) в розвитку ідей системності полягала в тому, що, завдяки йому, системність почали розглядати з позицій матеріалізму. Система стала повноцінним явищем навколишньої природи, суспільства і людського мислення. Маркс був першим філософом, який створив цілісну систему знань про суспільство, де системність стала системним підходом, методом наукового пізнання. Проте К. Маркс навмисно не дослідив системність. Будучи противником побудови абстрактних систем, він частіше використовував термін «організм», широко використовував основні поняття системного підходу. Ідеї системності були поширені К. Марксом на суспільство і його підсистеми.

Ідея розвитку систем одержала глибоке обґрунтування в роботах Фрідріха Енгельса (1820–1895) «Анти-Дюрінг», «Діалектика природи», «Людвіг Фейєрбах і кінець класичної німецької філософії». Енгельс сформулював *найважливіші положення системного світогляду*. Найбільш важливі з них такі:

- уявлення про об'єктивний світ як нескінченно велику, вічну, неоднорідну і самоорганізаційну систему;
- наявність загального об'єктивного взаємозв'язку і взаємозумовленості в природі;
- обґрунтування ідеї організації як на рівні природи, так і суспільства;
- розгляд взаємодії між елементами на базі механізму притягання і відштовхування;
- кругообіг матерії як форми загальної взаємодії і спрямованого розвитку;
- положення про критичні точки, в яких відбувається перебудова об'єктів і перехід їх від однієї якості до іншої.

Розглянемо ще одне русло системних ідей – природничо-наукове знання. Водночас у самих природничих науках можна виділити декілька найважливіших русел, за якими текли струмки системності, утворюючи в подальшому цілі річки.

На першому плані, безсумнівно, знаходиться *космологія*. Уже в далекій давнині склалися перші космологічні погляди.

Вони полягали в тому, що Земля нерухомо спочиває в центрі Всесвіту, а Сонце й інші планети обертаються навколо неї. Сформована на основі досвіду тисячоліть людства геоцентрична система Клавдія Птолемея, яка проіснувала майже 1 400 років, викладена в його праці «Альмагест», була замінена космологічною системою Миколи Коперника (1473–1543), викладеною ним у роботі «Про обертання небесних сфер» і опублікованою після його смерті. На підставі астрономічних спостережень М. Коперник дійшов до висновку, що геоцентрична система Птолемея неправильна і повинна бути замінена геліоцентричною.

У розвиток нового системного бачення Всесвіту значний внесок зробили німецький вчений Йоганн Кеплер (1571–1630), який установив закони руху планет навколо Сонця, та італійський вчений Галілео Галілей (1564–1642), який відкрив супутники Юпітера і виступив як мученик науки, захищав перед інквізицією істину – обертання Землі. Одна з його найвідоміших книг називалася дуже показово: «Бесіди про дві системи світу – Птолемеєву та Коперніканську».

Значним є внесок у системність звинуваченого в ересі і спаленого на багатті інквізиції Джордано Бруно (1548–1600). Космологічно світ за Бруно – це система систем. Завдяки йому утвердилася концепція нескінченності Всесвіту і незліченної кількості світів.

П'єр Симон Лаплас (1749–1827) у своїх трактатах «Виклад системи світу» і «Трактат про небесну механіку» розробив основи небесної механіки, обґрунтував виникнення Сонячної системи з первинної туманності, що складалася з розпеченого газу і простягалася далеко за межі найдальшої планети. Сонячна система формувалася в процесі сплющування туманності і виникнення в ній відцентрової сили, під впливом якої від туманності за її межі відділялися кільця газової матерії. З них потім формувалися грудки, що дали початок планетам і їх супутникам. Отже, космологічна система припинила бути деякою божественною і єдиною даністю, вона знайшла своє минуле, сьогодення і майбутнє.

У наступні століття і десятиліття були створені цікаві концепції, що доповнюють і розвивають уявлення про космос. Найбільш революційна концепція розширення Всесвіту була створена американським астрономом Едвіном Хабблом (1889–1953), який сформулював її, зіставляючи швидкості руху галактик.

Не менш важливе значення в становленні системних ідей мав розвиток *теорій будови речовини*, які обґрунтували існування мікросвіту систем.

У стародавніх греків світ складався з декількох першооснов, стихій (вогнь, повітря, земля, вода). Потім з'явилися ідеї будови всього існуючого з атомів у давньогрецьких атомістів Левкіппа (близько 500–440 р. до н. е.) і Демокріта з Абдер (близько 470–360 р. до н. е.). В основі світу, згідно Демокріту, є два початки – атоми і порожнеча. «Атомос» у перекладі з грецького означає «неподільний». Атоми він вважав найдрібнішими, неподільними частинками, які рухаються в порожнечі та відрізняються один від одного лише формою, розмірами, порядком і положенням. Стикаючись і зчіплюючись один з іншим, вони утворюють тіла і речі, з якими ми маємо справу в повсякденному житті. Демокріт, однак, не пояснював, чому атоми з'єднуються так, а не інакше. З позицій атомізму пояснював він і духовні явища. Душа, згідно Демокріту, побудована з найбільш рухливих кулястих атомів, з яких складається і вогнь. Він звертав увагу також на такі властивості існуючого, як гармонія, симетрія і природні причини явищ.

Революційним проривом у галузі будови речовини було відкриття в 1869 р. періодичної системи елементів Д. І. Менделєєва (1834–1907). У роботі «Досвід системи елементів, заснований на їхній атомній вазі та хімічній подібності» вчений заклав принципово новий підхід до розуміння системності за загальний і базовий принцип матерії. Подальший розвиток науки призвів до побудови моделі атома як системи, а також так званих елементарних частинок, які самі виявилися досить складними системами.

Розуміння атома стало системним завдяки Ернесту Резерфорду (1871–1937). Він запропонував концепцію планетарної будови атома, коли навколо додатно зарядженого ядра обертаються від'ємно заряджені електрони. Концепція одержала уточнення в роботах датського фізика Нільса Бора (1885–1962), який виявив дуалізм електрона, що одночасно має властивості частинки і хвилі. Пізніше Вернером Карлом Гейзенбергом (1901–1976) була закладена ціла наука – квантова механіка, яка пояснила рух електрона в атомі.

Просували вперед ідеї системності і *біологічні науки*. Понад півтори тисячі років панували погляди Клавдія Галена про те, що артеріальна і венозна кров – це різні рідини. Перша «розносить рух, тепло і життя», а друга покликана «жити органи». Систему кровообігу власне як систему у 1616 р. описав Вільям Гарвей (1578–1657). Антоні Ван Левенгук (1632–1723) за допомогою спостережень через вдосконалений ним мікроскоп виявив світ мікроорганізмів, що, безсумнівно, зробив важливий внесок у розуміння середовища системи. Карл Лінней (1707–1778) систематизував увесь рослинний і тваринний світ Землі. Він не зробив видатних відкриттів ні в ботаніці, ні в зоології, але запропонував систему наукового найменування рослин і тварин. Показовою є назва однієї з його праць – «Система природи». Системність К. Ліннея – це системність не стільки природи, скільки способу її бачення, тобто його системність мала методологічний характер. Жан Батіст Ламарк (1744–1829) аргументував зміни рослин і нижчих тварин під впливом навколишнього середовища, які набувають ті чи інші форми і властивості.

Видатний англійський вчений Чарльз Дарвін (1809–1882) на основі різноманітних фактів створив концепцію, яка пояснила походження видів завдяки природному відбору, згідно з яким виживають і залишають нащадків найбільш пристосовані до існуючих умов особини. У своїй книзі «Походження видів» він осмислив вплив середовища на організми, процеси природного відбору, адаптації та еволюції.

На завершення відзначимо, що багато досягнень у науці та техніці обумовлені системними уявленнями, які кожного разу, коли здійснювалися нові відкриття, підтверджують свої творчі потенції. Системний підхід дуже плідний. Він є потужним генератором наукових ідей.

Навчальне видання

Соколов Сергій Вікторович

ТЕОРІЯ СИСТЕМ І СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

Конспект лекцій

для студентів спеціальності

151 *«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

освітнього ступеня «бакалавр»

усіх форм навчання

Відповідальний за випуск О. О. Дрозденко

Редактор Н. М. Мажуга

Комп'ютерне верстання С. В. Соколова

Підписано до друку 10.04.2020, поз. 47.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 9,9. Обл.-вид. арк. 9,2. Тираж 5 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.