

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ І МЕХАНІКИ**

**Методичні рекомендації
для забезпечення самостійної роботи за курсом**

«МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

Запоріжжя -2019

Передмова	5
Розділ 1. СТАНОВЛЕННЯ СИСТЕМНОГО СВІТОГЛЯДУ	7
1.1. Принцип цілісності в науковому пізнанні	7
1.2. Загальна теорія систем.....	8
1.3. Поняття системи.....	9
1.4. Розвиток системних уявлень.....	10
1.5. Теорія систем як науково-навчальна дисципліна.....	11
Розділ 2. СИСТЕМА ЯК НАУКОВА КАТЕГОРІЯ	13
2.1. Підходи до визначення категорії «система»	13
2.2. Ознаки системи	16
2.3. Структура системи.....	17
2.4. Методологічні особливості вивчення систем.....	19
Розділ 3. МЕХАНІЗМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ.....	21
3.1. Взаємодія і взаємозв'язки в системі.....	21
3.2. Роль суперечностей в функціонуванні системи.....	23
3.3. Системоутворюючі фактори	24
3.4. Мета розвитку системи.....	26
Розділ 4. ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМ	28
4.1. Утворення системи	28
4.2. Становлення системи	28
4.3. Досконалість системи.....	29
4.4. Якісне перетворення системи	30
4.5. Еволюційні стани системи	32
Розділ 5. ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ.....	34
5.1. Ознаки і властивості систем, їх взаємозв'язок	34
5.2. Цілісність системи.....	35
5.3. Структурність та організованість.....	37
5.4. Функціональність	39
5.5. Відмежованість: система і середовище	40
Розділ 6. СКЛАДНІ СИСТЕМИ	43
6.1. Поняття простої і складної системи	43
6.2. Ознаки та критерії складності.....	45
6.3. Проблеми класифікації складних систем.....	46
Розділ 7. ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ	48
7.1. Сутність організації системи	48
7.2. Закони і принципи організації.....	49
7.3. Принципи функціональної організації систем	50
7.3.1. Принцип сумісності елементів	50
7.3.2. Принцип актуалізації функцій	51

7.3.3. Принцип зосередження функцій	52
7.3.4. Принцип лабілізації функцій	52
7.4. Рівень організації системи	53
7.5. Самоорганізація. Синергетика.....	54
Розділ 8. ІНФОРМАЦІЙНІ АСПЕКТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ	57
8.1. Поняття інформації	57
8.2. Інформаційні властивості елементів.....	58
8.3. Інформаційні процеси в системі.....	59
8.4. Інформація в управлінні системою.....	61
Розділ 9. КЛАСИ І ТИПИ СИСТЕМ	64
9.1. Типізація і класифікація: наукові підходи.....	64
9.2. Схеми класифікації систем	65
9.3. Особливості основних типів систем	69
Розділ 10. ТЕРИТОРІАЛЬНІ СИСТЕМИ.....	71
10.1. Сутність та особливості функціонування	71
10.2. Структуризація територіальних систем	72
10.3. Класифікація територіальних систем	75
10.4. Особливості дослідження	78
Розділ 11. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ.....	81
11.1. Визначення системного аналізу	81
11.2. Особливості здійснення та напрями застосування	83
11.3. Системний аналіз та інші системні дисципліни.....	86
Розділ 12. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	87
12.1. Основні поняття системного дослідження	87
12.2. Критерії в системному аналізі	89
12.3. Принципи системного аналізу	90
12.4. Характеристика (опис) системи.....	91
Розділ 13. МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ.....	95
13.1. Алгоритми системного аналізу.....	95
13.2. Методи системного аналізу	96
13.3. Побудова дерева взаємозв'язків	97
Розділ 14. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ	103
14.1. Моделювання як засіб наукового пізнання.....	103
14.2. Види моделей	104
14.3. Способи втілення моделей	105
14.4. Процес моделювання.....	108
14.5. Системні принципи моделювання.....	109
14.6. Методи моделювання систем	111
Розділ 15. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ.....	114
15.1. Поняття управління	114

15.2. Об'єкт управління як система	117
15.3. Суб'єкт управління як система	119
15.4. Системні принципи управління.....	121
15.5. Системна методологія прогнозування.....	123
Післямова	125
Термінологічний словник	126
Список використаної літератури.....	129

Передмова

Терміни «система», «системний підхід», «системне мислення» набули досить широкого вжитку в науці, управлінні, політиці. Це зумовлено, з одного боку, складністю завдань і проблем, з якими зустрічають ся вчені і практики, з іншого — це є свідченням суттєвого зростання загальнометодологічного потенціалу сучасної науки. З певністю можна стверджувати, що застосування ідей системності знаходить вияв в усіх сферах наукової і практичної діяльності.

Успіх діяльності великою мірою залежить від того, наскільки повно і обґрунтовано в ній застосовані системні ідеї. Інакше кажучи, застосування системного підходу можна розглядати як необхідну умову цілеспрямованої (раціональної) діяльності сучасної людини.

В той же час існує величезна кількість фактів, які свідчать про те, що незнання принципів системності або їх ігнорування через незнання приводить до криз, катастроф. Це стосується, зокрема, такої сфери діяльності людини, як природокористування. Природа є однією з найскладніших систем, і саме ігнорування системного підходу в ідеології і практиці природокористування привело до таких наслідків, як парниковий ефект, кислотні дощі, деградація озер, річок, ґрунтів. Ігнорування системності в процесі політичного і економічного реформування суспільства обертається економічними та політичними кризами. Відсутність системності в реформуванні національної освітньої системи призводить до істотного зниження якості освіти та навчання і, як наслідок, до низької професійної підготовки фахівців.

Очевидність такого роду фактів свідчить про нагальну необхідність формування системного сприйняття світу, системних знань і системних принципів, насамперед в освіті та підготовці фахівців для всіх сфер діяльності. Саме ідеї системного світосприйняття є одним з рушіїв, які спонукають до творчого мислення, усвідомленого розуміння, а не механічного запам'ятовування навчальної інформації. В підготовці

фахівців з окремих спеціальностей в Україні впроваджено вивчення теорії систем. Однак, зважаючи на неперевершений методологічний потенціал теорії систем, її вивчення, на думку автора, є необхідним і доцільним для всіх напрямів і спеціальностей підготовки фахівців з вищою освітою.

Аналіз публікацій з теорії систем наштовхує на певні висновки. По-перше, в монографіях досить ґрунтовно і глибоко викладені окремі аспекти, напрями теорії систем, які є, безумовно, важливим елементом формування наукового системного світогляду. Це стосується, насамперед, робіт А. Авер'янова, І. Блаубергата Е. Юдіна, В. Могилевського, В. Садовського, М. Сетрова, А. Уємова, Ю. Черняка, Є. Голубкова. По-друге, існуючі публікації навчального характеру істотно відрізняються між собою за змістом, структурою. Це свідчить зокрема, про відсутність загальноприйнятого підходу щодо формування змістовних засад відповідної навчальної дисципліни. Але кожний навчальний посібник (підручник), безумовно, є помітним позитивним внеском у формування дидактичних основ цієї навчальної дисципліни. По-третє, в існуючих навчальних виданнях дещо недостатньо збалансований матеріал, складний його виклад, а головне — відсутня спільна ідея (розуміння) щодо змісту, структури, логічної послідовності. Але це не стільки недолік таких публікацій, скільки відображення відповідного стану наукової впорядкованості теорії систем та далеко недостатня її дидактична й методична опрацьованість.

Виходячи із таких міркувань, автор в роботі над посібником ставив мету — створити зрозумілий і доступний для сприйняття посібник, який би відображав головні положення і принципи теорії систем. При цьому автор прагнув дотримуватись таких принципів:

1. Максимально використати існуючі, насамперед навчальні, публікації з теорії систем. У зв'язку з цим автор з вдячністю відзначає роботи Ю. Сурміна, М. Дмитриченка, П. Орловського, Н. Чорней, Е. Юна, М. Сетрова, А. Авер'янова, багато з ідей яких використані при підготовці посібника.
2. Створити своєрідну «абетку», «табличку множення» із загальної теорії систем, уникнувши викладу складних елементів спеціальних теорій систем, тобто показати початкові положення, зберегти при цьому достатній науковий рівень. Виходячи з цього, посібник і отримав назву «Вступ до загальної теорії систем».
3. Сформуванню певну структуру та логічну послідовність викладу навчального матеріалу, яка б не суперечила існуючим поглядом, була б їх розвитком та вдосконаленням і відображала розуміння автором дидактичної сутності загальної теорії систем.

Розділ 1.

СТАНОВЛЕННЯ СИСТЕМНОГО СВІТОГЛЯДУ

1.1. Принцип цілісності в науковому пізнанні

У сучасному світі відбувається безпрецедентне зростання його пізнання людиною, багатократне збільшення, урізноманітнення ускладнення інформації. При цьому, з одного боку, відбувається відкриття і накопичення великої множини нових фактів, відомостей про різні сфери дійсності, що зумовлює нагальну необхідність їх узагальнення та систематизації, відшукування та пояснення їх сутності, виявлення їх специфіки, обґрунтування засобів практичного застосування наукового знання. З іншого боку, зростання знань породжує значні проблеми їх освоєння, показує недостатність та неефективність певних методів, що застосовуються в науці та практиці.

Істотною особливістю сучасного життя є відкриття наукою великої кількості взаємозв'язків в оточуючому світі. Ці зв'язки потрібно вивчати, пояснювати та враховувати з користю для людини як у науковій, так і в практичній діяльності. Окрім традиційних сімейних і родинних зв'язків кожен з нас повинен турбуватися та підтримувати в робочому стані контакти з друзями і сусідами, з діловими партнерами, з фінансовими установами, зі службою побуту та медициною і т. ін. Така ситуація є об'єктивно необхідною, вона є результатом складного середовища існування кожної людини, що потребує постійної взаємодії людини з середовищем для забезпечення комфортних умов життя.

Зв'язки сучасної людини мають величезні причинно-наслідкові масштаби: на Сонці утворився протуберанець, що викликав збурення магнітного поля Землі, а магнітна буря викликала погіршення самопочуття. Подібні складні ланцюги взаємозв'язків виявляються в різноманітних сферах. Так, потрясіння на далеких біржах викликають коливання курсу національної валюти, цінові стрибки, як правило, зниження рівня доходів громадян. Ці та безліч інших фактів свідчать про єдність та відносну цілісність матеріального світу як об'єкта наукового пізнання.

Процес пізнання розглядається як взаємодія людини із зовнішнім світом. Результатом такої взаємодії є розширення та ускладнення моделі світу в уяві людини та розвиток самої людини, що виявляється в зростанні кількості активних понять, їх уточненні та поглибленні, а отже в удосконаленні внутрішнього світу людини.

Зовнішній світ по відношенню до людини є найбільшим об'єктом пізнання, а його суб'єктом є людина, в свідомості якої формується певне уявлення про об'єкт або пізнавальна (гносеологічна) модель цього об'єкта. *Єдність і цілісність* матеріального світу та його властивостей свідчить про те, що він повинен бути *адекватно відображений у свідомості людини*, тобто такими ж властивостями єдності і цілісності по винна володіти пізнавальна модель людини.

Будь-який об'єкт, яким би простим на перший погляд він не видавався, має складну будову, є певною цілісністю, що складається із час тин. Разом з тим будь-яке явище матеріального світу, від зовсім простого до надзвичайно складного, в свою чергу, є частиною ще більш складної цілісності. В кінцевому підсумку зовнішній світ є єдиною матеріальною системою безмежного Всесвіту. З прогресом науки все більш повно досліджуються структури і закономірності розвитку складних систем природи і суспільства. Вдосконалення техніки приводить до створення більш складних систем механізмів та систем управління. В цілому всі ці процеси зумовлюють необхідність потрібної для загального уявлення та пізнання світу системної концепції, системної методології.

Іншою важливою особливістю нинішнього життя є необхідність приймати рішення: від звичайних повсякденних (наприклад, яким маршрутом дістатися до роботи, навчання, магазину, де краще здійснити покупку?) до життєво важливих (вибір професії, міста проживання, навчального закладу). Причиною цього є широкий спектр можливостей, багато альтернативності нашого життя, що пояснюються складністю будови зовнішнього світу, суспільства, держави, регіону, підприємства, колективу.

Вибір рішення є вища, недосяжна сповна, мудрість життя. Для цього потрібно глибоко вникнути в ситуацію, пізнати суть явища, при-чинно-наслідкові зв'язки і т. ін.

Для осмислення об'єкта він повинен розглядатися у взаємозв'язку з його оточенням; потрібно зрозуміти причини його руху і роз витку, а отже, зрозуміти мету і засоби її досягнення, виявити ресурси і джерела його існування. Тобто, процес вибору рішення має здійснюватися на основі всебічного систематизованого пізнання дійсності в певній послідовності.

Необхідність такого глибокого пізнавального проникнення в суть оточуючого світу посилюється в сучасних умовах у зв'язку з великими масштабами перетворюючої діяльності суспільства. Це, зокрема, стосується зміни умов розвитку природних систем, що сприяє виникненню нових, раніше незнаних явищ, тенденцій їх руху, нерідко досить несподіваних та шкідливих. Раніше не виникала в глобальних масштабах загроза існуванню людства як наслідок його власної діяльності. Нині така загроза існує.

1.2. Загальна теорія систем

Такі особливості нинішнього розвитку суспільства свідчать про необхідність вивчення глибинних закономірностей оточуючого світу, що дозволить концентрувати матеріальні і духовні сили на конкретних напрямках пізнання. Тобто, знання загальних законів і умов розвитку дійсності значно полегшить та прискорить пізнання конкретики. Для вирішення цієї проблеми потрібна *універсальна* та ефективна методологія, як сукупність певних теоретичних уявлень, методів, засобів пізнання. Такою методологією є *системна методологія*, яка розглядає об'єкт пізнання як систему, що функціонує в середовищі і взаємозв'язана з цим середовищем.

Такий підхід у пізнанні світу знайшов втілення в теорії систем та її прикладному аспекті — системному аналізі. Теорія з'явилась як певне узагальнення кібернетики шляхом поширення її ідей на складні утворення (об'єкти). Теорія систем має потужний методологічний потенціал, який зараз можна з успіхом застосовувати для вирішення широкого спектру життєво важливих завдань як для окремої людини, колективу, підприємства, так і планети в цілому. Це досягається в результаті використання таких *базисних понять* теорії систем, як цілісність, складність, багатofункціональність, взаємозв'язаність із середовищем, цільова спрямованість у виборі рішення.

Загальна теорія систем являє собою загальнонауковий методологічний напрям, пов'язаний з розробкою сукупності філософських, теоретичних, конкретно-наукових і прикладних питань аналізу й син тезу складних систем довільної природи. Передумовою для створення загальної теорії систем є аналогії (ізоморфізм) процесів, що відбуваються в системах різних типів (технічних, біологічних, соціальних, економічних). (Безумовно доведений ізоморфізм процесів у системах різної природи (якості) дає підстави і можливості переносити знання з однієї сфери до іншої. Тобто, загальна теорія систем являє собою область знань, що дозволяють вивчати поведінку систем будь-якої складності та призначення. Загальна теорія систем має задовольняти такі вимоги [9]: 1) вона має бути настільки загальною, щоб могла охоплювати багато вже існуючих теорій; 2) повинна мати виключно науковий характер, а її терміни і визначення — бути математично однозначними; 3) наукове підґрунтя її має бути настільки фундаментальним, щоб її висновки мали без сумніву практичну цінність при вивченні конкретних систем.

Загальна теорія систем повинна мати дедуктивний характер та об'єднувати інші теорії, насамперед ті, що вивчають системи в цілому, а також ті, що досліджують поведінку систем (теорія управління, теорія адаптації, самоорганізація і т. ін.). Об'єднання під назвою загальної теорії систем усіх цих наукових теорій стає можливим в результаті більш високого рівня абстрагування, ніж у цих теоріях. Саме ця обставина дає можливість отримувати із загальної теорії систем всі ці теорії як часткові випадки. Іноді термін «загальна теорія систем» використовують як синонім терміна «абстрактна теорія систем». Тепер все ширшого вжитку набуває термін «системологія» (наука про системи), який з певними умовностями можна вважати тотожним загальній теорії систем.

У структурі загальної теорії систем достатньо очевидно виділяють ся два напрямки:

- а) метатеорія різноманітних системних підходів, концепцій, наукових дисциплін, які й виступають джерелом формування філософсько-методологічних положень загальної теорії систем;

б) абстрактна теорія систем — сукупність положень, принципів, методів формалізованого опису процесів і законів функціонування систем на основі математичного апарату. Тобто, абстрактна теорія систем є логічним продовженням та формалізацією положень метатеорії.

В загально філософському аспекті вважається, що реальні системи за своїми якостями є невичерпними, і для пізнання дійсності не обхідно використовувати всі можливі рівні абстрагування. Серед таких рівнів виділяють: символічний або лінгвістичний; теоретико-множинний; абстрактно-логічний; топологічний; логіко-математичний; теоретико-інформаційний; динамічний; евристичний.

- Загальна теорія систем спирається на три постулати [18]:
- функціонування системи може бути описане на основі вивчення структурно-функціональних зв'язків між елементами, що утворюють цілісність (систему);
- організація (структура) системи виявляється через стан (властивості і функції) елементів, які безпосередньо взаємодіють із середовищем (оточенням) системи;
- організація системи цілком визначає її функції і взаємодію із середовищем.

Системний підхід, як наріжний принцип загальної теорії систем, передбачає комплексне вивчення будь-якого об'єкта дослідження як системи, тобто її складу, структури взаємозв'язків, функцій, організації, місця в системі вищого рангу, внутрішньої ієрархії, стійкості, відкритості і т. ін.

Системний аналіз є одним з методів комплексного дослідження в об'єктах таких властивостей і відношень, що важко піддаються спостереженню та складні для безпосереднього пояснення. Мета системного аналізу досягається через уявлення цих складних об'єктів як цілеспрямованих систем (системний підхід) та дослідження їх властивостей і взаємовідношень між метою і засобами її досягнення. Системний аналіз вирішує завдання правильної (адекватної) постановки задачі, вибору доцільних методів дослідження. Системний аналіз ефективно застосовується в теоретичних і прикладних дослідженнях при виборі варіантів розвитку, інвестицій практично в усіх сферах діяльності від ядерних та молекулярних досліджень до глобальних (планетарних і космічних) проблем.

1.3. Поняття системи

Категорія «система» означає цілісну сукупність взаємозв'язаних частин. Загалом будь-яку сукупність взаємодіючих предметів можна ідентифікувати як системне утворення, тобто систему. Прикладом таких системних утворень є атом, молекула, жива клітина, біоценоз, ландшафт, верстат, автомобіль, фабрика, сім'я людей, трудовий колектив, студентська академічна група, факультет, університет, місто, регіон, держава, суспільство, планета.

Для прикладу детальніше розглянемо живу клітину. В матеріально-речовинному відношенні клітина складається з низки хімічних сполук — білків, нуклеїнових кислот. Кожна з цих сполук взята окремо є неживою хімічною речовиною, яка не володіє всією сукупністю життєвих функцій (проявів). Але в результаті певного способу взаємодії (обміну, заміщення, регенерації) ці хімічні сполуки утворюють цілісність, тобто власне клітину, яка володіє якісно складнішими властивостями по відношенню до первинних її складових: здатністю до обміну речовин, росту, само відтворення, подразливістю.

Зв'язки між компонентами системи завжди є суттєвими та органічними. Це означає, що ці зв'язки є виявом внутрішньої функціональної суті складових частин та відображують зміст і цільову спрямованість розвитку системи в цілому. Внаслідок цього зміна одного з компонентів викликає певні зміни всіх інших частин системи, а іноді - і системи в цілому. Наявність такої тісної взаємодії, органічного взаємозв'язку компонентів є причиною того, що в різноманітних процесах, у взаємодії з середовищем система виступає як єдине, цілісне утворення. Це виявляється тому, що внутрішні зв'язки між компонентами системи значно тісніші та стійкіші, ніж зв'язки цієї системи (або її окремих компонентів) з іншими матеріальними об'єктами зовнішнього середовища.

Система активно впливає на свої компоненти, змінюючи та перетворюючи їх відповідно до своєї внутрішньої суті (природи). В результаті такого впливу первинні (вихідні) компоненти зазнають помітних змін: одні з них втрачають певні властивості, якими вони володіли до входження в систему, та набувають нових властивостей; інші посилюють свої властивості в умовах внутрішнього середовища системи (внут-

рішньо системного середовища) і, таким чином, суттєво впливають на зовнішні функції системи в цілому; кількісних і якісних змін зазнають ті властивості компонентів, яких вони не втрачають. Наприклад, протон і нейтрон в складі атомного ядра мають зовсім не такі властивості, як у вільному стані. Вільний нейтрон є нестійким та існує відносно недовго, а в складі атомного ядра він набуває стійкості.

Наведені приклади свідчать про наявність у системи інтегративних властивостей, які не зводяться до суми властивостей її компонентів. Такі інтегративні властивості є якісно складнішими та вищими за суму властивостей компонентів.

Важливою особливістю системи є її склад, тобто певний набір компонентів, частин, елементів. Від складу, внутрішньої суті частини залежить природа цілого, тобто власне системи. Наприклад, властивості атома або хімічного елемента визначаються, насамперед, кількісним і якісним складом елементарних частин, що їх утворюють. Або така характеристика академічної студентської групи, як рівень успішності, за лежить від здібностей та працездатності студентів, що складають цю групу. Або якість і продуктивність роботи бригади мулярів залежить від рівня кваліфікації та мотивації до роботи працівників, що складають цю бригаду. Таким чином, склад, набір компонентів системи є змістовною властивістю останньої.

У підсумку потрібно підкреслити, що система — це відмежована від зовнішнього середовища сукупність взаємозв'язаних частин (компонентів), яка володіє якісно вищими та складнішими властивостями в порівнянні із сумою властивостей її частин й характеризується певним складом (набором) компонентів і певним способом їх взаємодії.

1.4. Розвиток системних уявлень

Перші уявлення про систему виникли в античній філософії, яка ви сунула онтологічне тлумачення системи як форми впорядкованості і цілісності буття. Давньогрецькі філософи, зокрема Аристотель та Платон, обґрунтували ідеї системного змісту: аксіоматичні, геометричні, логічних побудов. Системні уявлення античності були сприйняті та знайшли продовження в системно-онтологічних концепціях Б.Спінози та Т. Лейбніца, а також в конструкціях наукової систематики XVII—XVIII ст., що прагнули до системного тлумачення оточуючого світу. У філософії і науці нового часу поняття системи використовувалось для дослідження наукового знання. При цьому спектр пропонованих рішень був надзвичайно широким: від заперечення системного характеру науково-теоретичного знання до перших спроб філософського обґрунтування логіко-дедуктивної природи знань.

Одну з перших спроб наукового обґрунтування системного пізнання світу зробив А. А. Богданов, який в 1913 р. дав визначення таких важливих понять, як система та її види, зовнішнє середовище, взаємодія із середовищем.

Основоположником загальної теорії систем вважається Л.Берталанфі. Біля витоків теорії систем також були американські вчені Р. Калман, М. Месарович та вітчизняні — А. М. Колмогоров, В. М. Глушков, М. М. Мойсєєв.

Виникнення системних наукових уявлень пов'язують і змістовно, і хронологічно [23] з кібернетикою. М. А. Ампер (1843) обґрунтував науку про управління, яка оперує системними об'єктами. Але розвиток кібернетики як науки припадає на кінець першої половини XX ст. Н. Вінер у 1948 р. опублікував книгу «Кібернетика», де визначив її як самостійну науку про управління і зв'язок.

У процесі розвитку кібернетика поширила свої ідеї на різноманітні сфери знання, де досить ефективно застосовувалась її методологія. Виникли специфічні галузі кібернетики, зокрема біологічна, військова, медична, технічна, економічна і т. ін. З часом постала проблема узагальнення традиційних задач управління в різних галузях, що в підсумку зумовило появу теорії систем, або загальної теорії систем.

Загальна теорія систем утворилася як науковий напрям на початку другої половини XX ст. Вагомий внесок у її становлення зробили К. Боулінг, Р. Жерар, М. Месарович, А. Хол, В. Афанасьєв, І. Блауберг, П. Анохін, В. Садовський.

Створене в 1954 р. у США «Товариство досліджень в області загальної теорії систем» започаткувало видання щорічника «General Systems». У 1959 р. створений центр системних досліджень при Цейсівському технологічному інституті, а в 1963 р. — Інститут системних досліджень.

Практичне вирішення складних багатоваріантних задач в різних галузях та їх узагальнення викликали формування своєрідної теорії аналізу систем, яка, вдосконалившись за рахунок сприйняття концепцій теорії систем, оформилась у науково-практичний напрям - системний аналіз.

Свій внесок в теорію систем зробив також науковий напрям під назвою «теорія дослідження операцій», який зародився в 40-их рр. минулого століття як наука про дослідження масових явищ та підвищення ефективності їх використання. Пізніше цю теорію доповнили методи математичного програмування, теорія ігор, прикладні задачі теорії ймовірності.

Зокрема, теорія ігор має за мету відшукування оптимальних рішень в конфліктних ситуаціях, базуючись на математичному апараті. Сферою її застосування є вибір рішення в умовах невизначеності. Логічною основою цієї теорії є формалізація понять конфлікту, прийняття рішення в ньому і оптимальність такого рішення. Ця теорія базується на великій різноманітності математичних методів і тісно пов'язана з математичним програмуванням. Її застосовують при дослідженні операцій, в економіці, математичній статистиці.

Дослідження операцій — один з напрямів дослідження та проектування систем типу «людина-машина» і ґрунтується на математичному моделюванні процесів і явищ. Цей напрям застосовує системний підхід для відшукування істотної взаємодії в оцінці діяльності або виборі стратегії. Висновки здійснюються стосовно конкретних об'єктів (систем) на основі математичних моделей систем. При побудові моделей прагнуть виразити критерій, що характеризує якість функціонування системи, через керовані і некеровані змінні. При цьому використовуються методи імітаційного моделювання, теорії масового обслуговування, теорії випадкових процесів, математичної статистики. За допомогою дослідження операцій вирішують такі основні типи задач: роз поділу, управління запасами, заміни, масового обслуговування, впорядкування і координації, вибору маршруту, пошуку. Ці задачі мають прикладне значення для транспорту, торгівлі, постачання, маркетингу і т. ін.

У нинішніх умовах існують певні методологічні проблеми, що пов'язані з виконанням наукою складних завдань із вивчення та прогнозування глобальних загальносвітових, загальнолюдських процесів. Саме теорія систем володіє потужним методологічним потенціалом та арсеналом методів, що дозволяють всебічно досліджувати складні об'єкти та процеси і на основі такого вивчення здійснювати управління та регулювання.

1.5. Теорія систем як науково-навчальна дисципліна

Системна методологія тепер інтенсивно розвивається, що зумовлено зростаючими потребами в засобах наукового пізнання складних процесів суспільного розвитку. Та вже є необхідні підстави стверджувати, що в нинішньому вигляді теорія систем як загальнонаукова методологія має достатньо сформовану структуру. Ефективність і дієвість цієї теорії підтверджується вагомими здобутками багатьох галузей науки та практичної діяльності. Саме завдяки застосуванню положень теорії систем виникли нові напрями в біології, економіці, географії, екології. Все це свідчить про необхідність озброєння цією теорією фахівців вищої кваліфікації з різних галузей знань. По-перше, це необхідно для підвищення ефективності наукових досліджень у відповідних галузях знань. А системна методологія створює необхідні передумови для цього. По-друге, фахівці з вищою освітою в різній мірі, прямо або опосередковано виконують управлінські функції. Успішне здійснення таких функцій на рівні сучасних вимог без застосування теорії систем та системного аналізу вбачається неможливим.

Предметом загальної теорії систем як науково-навчальної дисципліни має бути вивчення загальних законів, закономірностей, механізмів, які діють у системах довільної природи.

Головною метою дисципліни є оволодіння системною методологією пізнання оточуючого світу та її ефективного застосування в професійній діяльності.

Системна методологія ґрунтується на таких головних положеннях:

- 1) пізнання змістовної суті, якісної специфіки об'єкта та притаманних йому системних, інтегративних властивостей;
- 2) дослідження складу системи, визначення кількісних і якісних характеристик її частин, їх підпорядкованість;
- 3) дослідження структури системи, тобто внутрішньої організації та взаємозв'язку компонентів;
- 4) виявлення механізму функціонування, що забезпечує цілісність системи;
- 5) дослідження комунікації системи із зовнішнім середовищем;
- 6) виявлення закономірностей та тенденцій розвитку системи.

Як міждисциплінарна методологія теорії систем використовує, зокрема, здобутки таких наукових напрямів, теорій та концепцій: синергетика, теорія штучного інтелекту, теорія катастроф, дослідження операцій, теорія адаптації, математична лінгвістика, теорія ідентифікації, теорія оптимального управління, теорія інформації, теорія зв'язків, теорія регулювання, результати прикладних (спеціалізованих) наук про конкретні об'єкти та результати дослідження.

З іншого боку, в сучасних умовах положення, принципи і методи загальної теорії систем знаходять ефективне застосування в усіх сферах наукової та практичної діяльності. Без оволодіння положеннями теорії систем, без їх застосування у професійній діяльності неможливо уявити конкурентоспроможного, високопрофесійного фахівця в будь-якій галузі.

Запитання для самоконтролю

1. *Наведіть аргументи, що доводять об'єктивність принципу цілісності.*
2. *Учому полягають особливості структури загальної теорії систем?*
3. *Які головні ознаки системи ?*
4. *Учому полягає інтегративна властивість системи?*
5. *Поясніть сутність принципів системної методології.*
6. *Учому полягає професійна спрямованість теорії систем?*

Розділ 2.

СИСТЕМА ЯК НАУКОВА КАТЕГОРІЯ

2.1. Підходи до визначення категорії «система»

Поняття «система» запроваджене Аристотелем (у перекладі з грецької означає ціле, складене з частин, об'єднання), який відзначив, що сума частин характеризується тим, що становище цих частин в системі не утворює відмінностей. Але там, де виникають такі відмінності, має місце ціле. Заради справедливості потрібно зауважити, що поняття система використовувалось і до Аристотеля. Спектр значень слова «система» в грецькій мові досить широкий: поєднання, організм, будова, організація, спілка, устрій, керівний орган. Багатозначність поняття «система» дозволяє визначити цим словом широке коло різноякісних явищ, які, проте, мають дещо спільне. Увібравши в себе сутність таких важливих понять, як «порядок», «організація», «цілісність», вона (система) не зводиться в повній мірі ні до одного з них і, за висловом А. М. Авер'янова, поняття «система» стало певною мірою аксіоматичним [1].

Поняття «система» як і будь-яке наукове поняття, є результатом логічного абстрагування і виступає значною мірою як ідеальний об'єкт, який формується в свідомості (уяві) дослідника. У визначенні категорії «система» досить часто спостерігається намагання надати йому чіткість та конкретність, прив'язавши до певної галузі досліджень. Наприклад, французький філософ Кондільяк говорив про систему як про певний по рядок розташування різних частин мистецтва або науки. Відомий філософ І. Кант стверджував, що система — це єдність різноманітних знань, які об'єднані однією ідеєю. Гегель підкреслив, що реальність має системний характер. Застосування системного світогляду сприяло видатним науковим відкриттям (Ч. Дарвін, Д. Менделєєв, В. Вернадський).

У нинішній час системний стиль мислення став панівним. Аналіз визначення системи містять багато наукових праць з найрізноманітніших галузей, від філософії до ядерної фізики, від мистецтвознавства до технології виробництва. Системи поділяють на цілісні та сумативні, органічні та механічні; динамічні та статичні; відкриті і замкнуті й т. ін. Попри таку різноманітність систем всі вони мають *спільні риси, які їм повинні знайти відображення в їх науковому визначенні.*

Для початку доцільно підкреслити необхідність чіткого розмежування онтологічного та гносеологічного підходів до визначення системи. *Онтологічний* підхід відображає реально існуючий взаємозв'язок об'єктів матеріального світу. *Гносеологічний* (пізнавальний) підхід є відображенням у свідомості людини (суб'єктивним образом) реального матеріального утворення (системи) з метою його пізнання.

Вперше ідеї загальної теорії систем були послідовно викладені Л. фон Берталанфі в лекціях, проведених 1937—1938 рр. в Чикагському університеті, а перші публікації з цього приводу припадають на 1947—1950 рр. Ситуація різко змінилась на користь цих ідей, коли загальна теорія систем була прихильно сприйнята науковою громадськістю. Концепція загальної теорії систем виникла як узагальнення принципів теорії відкритих систем. Пізнавальні моделі, що застосовувалися в теорії відкритих систем, а також засоби і прийоми її побудови, давали можливість аналізувати і прогнозувати (ще в період створення теорії) не тільки біологічні об'єкти, а й явища фізичної хімії, соціології, психології та інших дисциплін.

За Л. Берталанфі, загальна теорія систем є виразом суттєвих змін у понятійній картині світу, які відбулися в ХХ ст. При цьому він посилається на У. Уївера, який розмежував три етапи розвитку предметів наукового аналізу: перший — організована простота (світ класичної механіки), другий — неорганізована складність (світ класичної статичної фізики), третій — організована складність. Поняття організованої складності, організації як предмета дослідження зумовило необхідність постановки нової пізнавальної концепції — загальної теорії систем, задачі якої сформулював Л. Берталанфі: 1) формулювання загальних принципів і законів розвитку систем незалежно від їх специфічного виду, природи складових частин (елементів) і відносин між ними; 2) виявлення через аналіз біологічних, соціальних, біхевіоральних об'єктів, як систем, точних законів особливого типу в нефізичних областях пізнання; 3) створення основи для синтезу результатів сучасних наукових знань шляхом виявлення ізоморфізму законів, що відносяться до різних сфер реальності та наукового пізнання.

У своїй системній концепції Л. Берталанфі використав низку наріжних формальних категорій, що відображають системні властивості. Категорія *цілісності* означає, що зміна будь-якого елемента помітно впливає на всі інші елементи системи і приводить до зміни всієї системи і, навпаки, зміна одного елемента залежить від усіх інших елементів системи. Категорія *сумативності* — зміна будь-якого елемента залежить тільки від нього самого і зміни всієї системи є сумою змін не залежних один від одного її елементів (взаємодія в такому випадку дорівнює нулю). *Механізація* — процес переходу системи із стану цілісності до стану сумативності, при цьому коефіцієнти взаємодії кожного окремого елемента системи зменшуються і при $t \rightarrow \infty$ наближається до нуля. *Централізація* — процес збільшення коефіцієнтів взаємодії певної сукупності або окремого елемента, в результаті чого незначні зміни цієї сукупності (провідна частина системи) приводять до істотних змін всієї системи. *Ієрархія системи* — окремі елементи даної системи одночасно є відносно самостійними системами нижчого порядку, тобто ця система нижчого порядку розглядається як елемент системи більш високого порядку.

Саме ці категорії характеризують *ізоморфізм* будь-яких систем, тобто наявність спільних ознак і властивостей у систем різної природи, різної якості. Хоча критики Л. Берталанфі вказували на те, що виявлені ним ізоморфіями небагато дають для конструктивного розуміння мікроструктурної будови досліджуваних об'єктів. Але, заперечуючи критиків, потрібно зауважити, що саме в формулюванні загальних системних принципів і полягає науковий внесок Л. Берталанфі, а прикладне вивчення мікроструктур, кількісне вимірювання зв'язків, формалізований опис системи вимагають більш розгалужених і досконаліх засобів дослідження. Саме таким засобом є системний аналіз, який і базується на принципах загальної теорії систем.

Визначний вчений в галузі загальної теорії систем У. Росе Ешбі в своїй статті «Загальна теорія систем як нова наукова дисципліна», відштовхуючись від задачі аналізу системи як деякої цілісності, зробив спробу вирішити цю задачу в рамках кібернетичного способу дослідження. Він віддавав перевагу дедуктивному методу аналізу системи і висунув концепцію системи як «чорної скриньки». Безумовно, такий підхід до пізнання системи має велике і загальнотеоретичне і, особливо, практично-прикладне значення, але в той же час він відіграє переважно загальнопізнавальну роль і не є цілком достатнім способом пізнання системи.

Одним з принципів є питання: чи будь-яка сукупність об'єктів є системою? Частина вчених, серед яких 1. В. Блауберг, В. М. Садовський, Є. Г. Юдін, стверджують, що будь-яка система є сукупністю, про те не кожна сукупність є системою. Вони наголошують на тому, що прості сукупності (наприклад купа каміння) є неорганізованими та не володіють інтегративними властивостями, а отже, їм не притаманні істотні системні ознаки. Інші вчені, зокрема В. Г. Афанасьєв, О. Г. Спіркін, А. М. Авер'янов, стверджують, що всі сукупності є системами, оскільки: 1) неорганізовані сукупності складаються з елементів; 2) елементи цих сукупностей певним чином зв'язані між собою (хоча зв'язки мають зовнішній або випадковий характер); 3) зв'язки об'єднують елементи в певну форму; 4) наявність зв'язків зумовлює певні, хоча й прості, закономірності часового або просторового характеру; 5) зв'язки зумовлюють певну форму впорядкованості, неорганізовані сукупності мають нижчу форму «порядку», впорядкованості. Оскільки «порядок» — це певний процес, то у купі каміння можна визначити часовий порядок, тобто послідовність входження окремих елементів в дану сукупність.

Іншим важливим питанням є співвідношення понять *цілісності* і *відмежованості* системи. Деякі вчені ототожнюють ці поняття. Так, М. І. Сетров підкреслює, що зовнішня відмежованість предмета і є виразом його внутрішньої цілісності. Проте це не завжди так, бо «відмежованість» — зовнішня властивість системи, а «цілісність» — її внутрішня властивість, якої вона набуває в процесі еволюції. Система завжди є зовнішньо відмежованою, але не завжди цілісною (недобудований будинок, іон як нецілий атом). Загальна залежність між цими поняттями досить однозначна: *чим більше система відмежована від середовища, тим більше вона є цілісною*. Такі міркування дають підстави для поділу всієї різноманітності систем на дві великі частини: неорганізовані сукупності та цілісні системи.

Цікавою з точки зору взаємозв'язку системних понять є концепція цілісності О. Ланге, в якій поняття системи поділяється на три групи понять. Першу групу становлять поняття, що визначають власне системний об'єкт: а) діючий елемент — матеріальний об'єкт, який певним чином залежить від інших подіб-

них матеріальних об'єктів та одночасно впливає на них; б) зв'язки елементів — перетворення, зміна векторів, що описують стан елементів; в) система — сукупність взаємопов'язаних діючих елементів; г) структура — мережа зв'язків між елементами. Другу групу складають поняття, запозичені з кібернетики, що слугують для розчленування (аналізу) і опису стану об'єктів першої групи: а) входи і виходи елементів та систем; б) рівновага систем; в) стабільність; г) саморегуляція систем. До третьої групи входять поняття, запозичені з векторної алгебри, що слугують для формалізованого кількісного опису понять і параметрів першої та другої груп. Таким чином, фундаментом системної концепції в даному випадку виступають поняття «елемент» і «зв'язок», а поняття системи і структури є своєрідними похідними від них.

Вище викладене свідчить про те, що вихідним пунктом системного мислення (підходу, методології) є уявлення про цілісність досліджуваного об'єкта (явища). Таке уявлення передбачає принаймні два наслідки: по-перше, система може бути пояснена і зрозуміла як

цілісність лише при умові, коли вона певною мірою протистоїть середовищу, що її оточує; по-друге, «розчленування» системи приводить до поняття елемента, властивості і функції якого визначаються його місцем в рамках цілого.

А. М. Авер'янов вказує на дві філософські протилежності системи: *хаос та елемент* [1]. Поняття хаосу (на противагу впорядкованості) є відносним. Влучний приклад, що ілюструє відносність хаосу, наводить Г. Клаус (1963): зруйнований землетрусом будинок, руїни з погляду архітектури і будівництва являють собою тільки хаос, але не систему. Якщо ж цю купу розглядати з точки зору механіки, то виявиться, що вона являє собою складну систему з великою множиною відносин між тиском, зчепленням, тертям. Цей та багато інших прикладів і міркувань свідчать про те, що хаос — це непізнані закономірності. Все в світі взаємопов'язане, а взаємозв'язок зумовлює певний порядок, певні закономірності, що відкриваються в процесі пізнання.

Таким чином, поняття хаос відображує: 1) системи з непізнаними закономірностями зв'язків між елементами; 2) системи, для яких властиві відносно нижчі форми зв'язків; 3) одну або кілька систем, що виступають як фон стосовно конкретної системи, як об'єкта дослідження.

Елемент, за висновком Аристотеля, є першоосновою тіла, з якої воно складається і яка на вигляд неподільна на інші види. Це означає, що елемента в абсолютному вигляді, поза системою, не існує. Бо будь-який «елемент» сам по собі може бути поділений на складові частини, хоч яким би він не здався малим, мікроскопічним. Саме в цьому спостерігається один із виявів гносеологічного підходу: *елемент як неподільна частина може розглядатися лише в контексті пізнавальної моделі системи*. Якщо ж застосовувати іншу пізнавальну модель, то «елемент» уже не буде неподільним. Наприклад, з точки зору економічної моделі суспільства, людина може розглядатися як елемент, а з точки зору біологічної моделі людина — це складна суперсистема, яка складається з багатьох систем (нервової, опорної, кровообігу). Або підприємство з точки зору економічної географії є елементом територіальної соціально-економічної системи але з точки зору технології виробництва — це складна технічна система.

Існує величезна кількість термінологічних визначень категорії «система». Автори колективного підручника «Системологія на транспорті» [18] наводять найпоширеніші:

- система — цілісна взаємозалежна безліч об'єктів;
- система — цілісна безліч об'єктів (елементів), пов'язаних між собою взаємними відносинами;
- система — порядок (план, класифікація), згідно з яким розташовується група понять для утворення єдиного цілого;
- система — сукупність взаємозалежних, певним чином організованих і взаємодіючих елементів;
- система — організована безліч структурних елементів, що взаємопов'язані і виконують певні функції;
- система — комплекс вибірково залучених компонентів, у яких взаємодія і взаємини набувають характеру взаємоспрямовання компонентів на одержання фіксованого корисного результату;
- система — сукупність взаємозалежних елементів, відособлена від середовища і взаємодіюча з ним як ціле.

Аналіз таких підходів до визначення системи вказує на, принаймні, дві суттєві їх риси. По-перше, прагнення дати визначення в найбільш узагальненому, теоретично-абстрагованому рівні. По-друге, відобразити спрямованість системи на вирішення практичного (технічного, виробничого, управлінського) завдання, її певну цілісність та впорядкованість.

Перша тенденція, прагнучи до найвищого рівня узагальнення, вимушено спрощує і генералізує визначення. Тому передбачає віднесення до систем різних конгломератів, властивості яких адитивні, тобто зводяться до простої суми властивостей його складових частин. Такі утворення не володіють інтегративними (цілісними) властивостями. Головна особливість конгломерату в тому, що при включенні до нього чи при виключенні з нього компонентів (частин) ні сам конгломерат, ні його частини не зазнають якісних змін. Відбуваються лише механічні (кількісні) зміни, бо кожен з компонентів конгломерату є автономним і зв'язки мають лише зовнішній, нестійкий характер. Конгломерати називають ще сумативними системами.

Друга особливість вказує на цілеспрямованість системи, наявність мети, яка поєднує частини в цілісність, що певним чином підпорядкована досягненню мети. Головна властивість цілісної системи, що відрізняє її від сумативної системи, є наявність інтегративних властивостей.

Загалом же систему можна визначити як цілісну відмежовану сукупність взаємозв'язаних елементів, якій притаманні нові інтегративні властивості, що є якісно вищими від суми властивостей окремих частин.

Поняття «система» відрізняється від поняття «комплекс». Комплекс означає в перекладі з латині — «зв'язок», «сполучення». У світі все взаємозалежне, але одного лише взаємозв'язку для розуміння системності недостатньо, необхідно підкреслити специфіку взаємодії елементів сукупності. Комплексність є лише однією із граней системності.

2.2. Ознаки системи

Сучасний рівень наукової розробки категорії «система» дає підстави для формулювання її суттєвих ознак:

- взаємний зв'язок тіл (частин, компонентів, елементів), що утворюють систему;
- суперечливий характер взаємодії між елементами системи;
- наявність інтегративних якостей, властивостей;
- якісна відмежованість взаємозв'язаної цілісності елементів від зовнішнього середовища.

Змістовною основою існування будь-якої системи є зв'язки між тілами та об'єктами. Саме зв'язки «запускають» і підтримують в робочому стані механізм життєдіяльності системи. Більшість зв'язків у системі є виразом внутрішньої суті елементів. Властивості елементів та їх функції в системі є відображення їх внутрішньої суті. Наприклад, акумуляторна батарея, як елемент системи електрообладнання автомобіля, володіє двома основними властивостями - накопичувати та використовувати електроенергію. Ці властивості визначають її основні функції (як в системі електрообладнання, так і в системі запалювання): забезпечення електрострумом приладів освітлення, забезпечення збудження в котушці запалювання, забезпечення електрострумом стартера, використання та накопичення електроенергії, що виробляється генератором. Виконання таких функцій зумовлює необхідність відповідних зв'язків з названими елементами. Відсутність же таких внутрішніх властивостей акумулятора не дозволила б йому виконувати відповідні функції, а отже, і зв'язків би не існувало, а сам акумулятор не був би елементом даної системи.

Інтегративні (системні) якості системи виявляються в наявності таких її властивостей, які, з одного боку, не притаманні повною мірою жодному з її елементів, а з іншого — не зводяться до простої суми властивостей її елементів, а є якісно вищими та складнішими за таку суму. Звідки ж з'являються такі інтегративні властивості системи? Їх поява досить влучно характеризується таким філософським принципом: *ціле є більшим, ніж сума частин цього цілого*. Поява нових інтегративних властивостей зумовлена, по-перше, «об'єднанням» спільних функцій і властивостей елементів; по-друге, відмиранням тих окремих функцій певних елементів, які «непотрібні» системі; по-третє, набуттям або посиленням окремими елементами певних функцій, що викликаються потребами системи; по-четверте, неповною впорядкованістю взаємодії елементів та внутрішньосистемною спеціалізацією їх функцій. Наприклад, бригада мулярів

з 5 осіб виконує якісніше, з більшою продуктивністю і в більших обсягах роботу, ніж якби вони працювали окремо, а потім обсяги роботи кожного додали (підсумували). Чому? Робітник, який працює окремо, виконує сам всі необхідні операції послідовно (розвантаження матеріалів, приготування розчину та його доставка до місця, доставка цегли і т. ін.). В бригаді ж (у системі) існує розподіл і спеціалізація функцій, що зумовлює швидше і якісніше виконання операцій. В цьому і полягає системний ефект бригади, яким, однак, не володіє окремо взятий робітник.

Характер та спосіб взаємодії елементів зумовлює *внутрішню організацію* системи, тобто наявність певної впорядкованості її елементів. Кожна конкретна система має свою специфічну організацію, яка ускладнюється відповідно до ускладнення та підвищення рівня диференційованості системи. Потрібно розрізняти поняття «структура» і «організація» системи. Поняття «структура» відображає склад, зв'язки, взаємодію елементів, а поняття організація — певний порядок, процес і результат впорядкування взаємодії елементів відповідно до інтересів системи.

Важливими ознаками в цілісності системи є *координація* і *субординація*, які відображують певний рівень складності її структури. Координація — це певна узгодженість, «підігнаність» компонентів цілого один до одного, той особливий характер їх взаємної залежності, який забезпечує динамічну рівновагу системи. В механічних системах ця залежність має, по суті, однозначний характер: наслідок є прямо пропорційним причині, тобто це ще власне не координація. У більш складних, наприклад фізичних або хімічних, системах спостерігається вже не пряма і однозначна, а опосередкована та багатозначна детермінація компонентів. Кожен з них відчуває одночасно вплив не одного, безпосередньо зв'язаного з ним компонента, а й багатьох інших прямо не зв'язаних з ним. І навпаки, сам цей компонент впливає не лише на один чи групу безпосередньо зв'язаних з ним елементів, але через них і на багато інших компонентів системи. Однак більш повне вираження координація має в органічних (живих) та соціальних системах, в яких кожен елемент є одночасно і причиною, і наслідком. Будучи причиною, тобто впливаючи на інші елементи, певна частина одночасно є і наслідком, бо її функції певною мірою є результатом тих дій, причиною яких вона є сама. Оскільки при наявності яскраво виявлених відносин координації має місце складне переплетіння причин і наслідків, то у відносинах між елементами завжди присутній ефект *випадковості*. Цю обставину потрібно враховувати в процесі аналізу складних систем.

Для органічного світу і соціальних систем властива *субординація* — підпорядкованість і підлеглість, які вказують на особливе місце та неоднакове значення кожного елемента в системі. Одні елементи відіграють важливу, навіть визначальну, роль в системі, інші — меншу, іноді другорядну роль.

Не менш важливою особливістю системи є специфічність її взаємодії із *зовнішнім середовищем*, під яким потрібно розуміти відмежовані від системи об'єкти і явища, з якими вона певним чином взаємодіє. Об'єкти зовнішнього середовища відіграють неоднакову роль у житті системи: одні — майже не суттєві для неї, інші — помітно впливають на неї, а без деяких система не може існувати. Наприклад, нежива система (молекула, кристал) руйнується і поглинається середовищем; живий організм пристосовується до середовища, використовує його частини; людина — використовує і перетворює середовище свого існування. В цілому роль середовища для системи є надзвичайно важливою. Цю обставину необхідно враховувати як у пізнанні, так і на практиці.

Таким чином, істотними характеристиками (ознаками) системи є: цілісність складу, інтегративні властивості, структура, характер взаємодії з середовищем.

2.3. Структура системи

Поняття структури (лат. structura — будова, розташування, порядок) системи відображає дві суттєві її характеристики: а) склад (з яких елементів вона складається); б) спосіб їх взаємодії. Властивості, кількісні і якісні параметри будь-якої системи, таким чином, визначаються, насамперед, її структурою. Адже від того, з яких елементів складається система, від властивостей та функцій цих елементів буде залежити і спосіб їх взаємодії, і характер їх зв'язків. Наприклад, всі сучасні автомобілі складаються з одних і тих же, загалом подібних, елементів. В той же час автомобіль марки «BMW» має якісно кращі характеристики (швидкість, надійність, довговічність), ніж автомобіль «ЗАЗ — 966». Технічна система «BMW» має переваги за рахунок властивостей своїх елементів (двигун, система запалювання, трансмісія і т. ін.), а також

за рахунок іншого способу їх взаємодії (автоматична коробка передач, гальмівна система і т. ін.). Тобто, від властивостей елементів значною мірою залежить характер та якість системи.

Важливою характеристикою структури є *просторові відношення*, бо і сама система, і її компоненти володіють певними розмірами, протяжністю. Як правило, елементи системи неоднакові за розмірами, але незалежно від цього вони певним чином, у певному порядку розташовані, підігнані один до одного. Від такого порядку, від просторового розміщення частин та відстаней між ними значною мірою залежить міцність та життєздатність системи. Результати системних досліджень свідчать про те, що система є стійкою далеко не при будь-яких, а лише при певних (оптимальних) розмірах та конфігурації.

Час — притаманна риса структури системи. Існування системи характеризується певним віком, періодичністю, ритмічністю, етапністю, стадійністю. Такі характеристики знаходять вияв у часовій структурі системи, яка передбачає її стабільність у часі та динамічну стійкість.

Крім просторово-часових зв'язків структура системи характеризується множиною інших видів взаємодії: безпосередніх і опосередкованих, суттєвих і не суттєвих, необхідних і випадкових тощо.

У структурі (в складі) системи виділяються якісно відмінні одна від одної частини: елемент — компонент — підсистема.

Під складовою частиною системи зазвичай розуміють певну просторову, змістовну, матеріальну, функціональну відособленість. Але така відособленість є умовною, точніше, відособленість - це певна автономність частини у складі (структурі) системи, що може виражатися в формі, величині, функціях цієї частини.

Елемент — це першооснова системи, вихідна, неподільна в умовах даної системи її частина, з якої складаються інші частини системи. Елемент (елементарний) означає кінцевий, неподільний, останній. Елемент — це поріг членування в межах даної якості системи й елементарний його носій. Зрозуміло, елемент неподільний не взагалі, а тільки в рамках даної якості. Членування елемента виводить дослідника в якісно іншу систему

Компонент — це частина системи, що виділяється за певними ознаками (спільністю властивостей елементів або їх формою), це взаємодіючі структури, що підкоряються тим же законам, що і вся система. Так, жіноча частина виробничого колективу може розглядатися як його компонент. Компоненти виділяються, як правило, за зовнішніми ознаками, а не за функціями, і не за наявністю певних зв'язків між елементами. Таке виділення компонентів є цілком суб'єктивним і здійснюється з пізнавальною метою.

Підсистема — це цілісне утворення у складі певної системи, підсистема — це система в системі більш високого порядку (надсистемі). Наприклад, в системі «університет» підсистемами будуть факультети. Тобто, підсистема — це система нижчого порядку у великій системі. Продовжуючи приклад, можна говорити, що факультет — це підсистема першого порядку, курс — підсистема другого порядку, академгрупа — підсистема третього порядку, студент — елемент системи «університет».

Підсистеми утворюються компонентами нижчого порядку стосовно системи в цілому. Будь-який поділ цілого на частини, поділ системи на підсистеми є відносним, деякою мірою умовним. Наприклад, гальмівну систему автомобіля можна віднести або до ходової частини, або до підсистеми керування. Іншими словами, границі між підсистемами умовні, відносні.

Оскільки реальна дійсність системно організована, то будь-яка окремо взята система функціонує в умовах більшої системи, яка є зовнішнім середовищем для конкретної системи. Так, «університет» функціонує в умовах системи навчальних закладів міста, регіону і т. ін. А в масштабах міста система «університет» буде розглядатися як «елемент» територіальної соціально-економічної системи «місто». Велику систему, в умовах якої функціонує конкретно досліджувана система, називають «суперсистемою» або «надсистемою». Так, університет буде надсистемою стосовно академгрупи студентів.

2.4. Методологічні особливості вивчення систем

Розглянуті ознаки системи є важливими методологічними джерелами для застосування прийомів (методів) пізнання взагалі та дослідження систем, зокрема. В конкретних дослідженнях в залежності від їх мети можуть використовуватись окремі ознаки або їх певна комбінація.

При вивченні системи необхідно враховувати і відповідним чином відображувати тісний взаємозв'язок властивостей цілісності, структурності, взаємодії. Оскільки поняття системи має надзвичайно широку область застосування (практично будь-який об'єкт можна розглядати як систему), то для обґрунтування загальних правил її пізнання необхідна побудова адекватних категорій як змістовного, так і формального характеру. Ці категорії повинні бути відображенням істотних ізоморфних властивостей системи і вони можуть бути виражені у відповідних принципах дослідження системи.

Принцип цілісності — принципова неможливість зведення властивостей системи до простої суми властивостей елементів, що її складають. Залежність кожного елемента, властивості від його місця, ролі, функцій всередині цілого.

Принцип структурності — можливість пізнання (опису) властивостей і параметрів системи через виявлення її структури, тобто зв'язків і відносин між її частинами. Обумовленість поведінки системи поведінкою її окремих елементів і властивостями її структури.

Принцип взаємозалежності системи і середовища - прояв властивостей системи відбувається в процесі і під впливом її взаємодії з оточуючим середовищем, яке є одним з головних факторів розвитку системи.

Принцип ієрархічності — кожний елемент системи є, в свою чергу, системою нижчого рангу (порядку), а досліджувана система є одночасно елементом системи більш високого порядку.

Принцип множинності опису — в силу відносної складності будь-якої системи її адекватне відображення вимагає побудови множини різних пізнавальних моделей, кожна з яких описує лише певний аспект системи.

Досить поширеним в науці і практиці є *структурний підхід*, змістом якого є пізнання структури, внутрішнього взаємозв'язку елементів цілісної системи. Саме пізнання структури дає можливість виявити всю повноту взаємозв'язків елементів, виділити серед них суттєві і несуттєві, необхідні і випадкові, зрозуміти характер детермінації частин цілим і зворотний вплив частин на цю цілісність. Цим самим виявляється складна архітектоніка цілого, фактори і джерела його існування, внутрішній механізм його функціонування, взаємодії з середовищем.

Розкриття структури цілого дозволяє зрозуміти конкретне місце, роль і значення елементів в цілому. Дозволяє зрозуміти, виходячи з їх загального системного взаємозв'язку, чому кожний елемент саме такий, а не інший? Чому він виконує саме таку, а не іншу функціональну роль? Як і чому система зберігає свою якісну специфіку в умовах постійних внутрішніх збурень та перетворень у зовнішньому середовищі?

Процес пізнання цілісної системи можна уявити у вигляді руху думки від складу системи (з чого складається) до структури (внутрішньої будови), а потім до функцій (як діє).

Функціональний підхід полягає у дослідженні функцій системи. Зрозуміло, що функції системи є виразом її складу та структури, але іноді мета дослідження вимагає починати його з вивчення функцій, не досліджуючи при цьому детально структури. Це відбувається у випадку, коли потрібно знати зовнішні функції системи, не вникаючи в її будову. Або, коли через вивчення функцій системи досліджують склад та взаємозв'язок її елементів. Метод вивчення функцій системи без вивчення її структури та внутрішніх властивостей (з метою подальшого пізнання її суті) називається методом «чорної скриньки». Застосування цього методу є необхідним, а нерідко і єдиним засобом вивчення системи, оскільки безпосереднє проникнення в неї ускладнене або неможливе. Причиною таких складнощів може бути відсутність технічних засобів (наприклад, при дослідженні атома), небезпекою завдання шкоди системі (наприклад, при дослідженні живих організмів). Метод «чорної скриньки» застосовується для кількісного визначення відомих функцій системи або для вивчення її полюсів: «вхід» забезпечує надходження інформації ззовні, «вихід»

видає зворотну реакцію системи на одержану інформацію. На основі результатів вивчення функцій здійснюються передбачення (гіпотези) про внутрішню будову системи.

Запитання для самоконтролю

- 1. У чому сутність гносеологічного та онтологічного підходів до визначення системи?*
- 2. Назвіть основні положення системної концепції Л. Берталанфі.*
- 3. У чому сутність концепції цілісності О. Ланге ?*
- 4. Поясніть взаємозв'язок головних ознак системи.*
- 5. Який взаємозв'язок між головними структурними частинами системи?*
- 6. Яка відмінність між категоріями «система» і «структура» ?*

3.1. Взаємодія і взаємозв'язки в системі

Взаємодія елементів в системі ґрунтується на їх внутрішній суті, яка виявляється в системі через їх функції, та їх відносній самостійності. Самостійність елементів зумовлюється такими їх ознаками, як: 1) специфічні особливості, які виходять з внутрішньої суті елемента; 2) диференційованість — певна локалізація та просторово-часова відокремленість від інших елементів; 3) специфічні властивості (фізичні, хімічні, соціальні, біологічні); 4) специфічні функції певного елемента, які відрізняються від функцій інших елементів. За рахунок такої самостійності елементи набувають системної *спеціалізації*, тобто вони виконують певну роль, певні види «роботи», певні, притаманні тільки їм, функції в системі. Це означає, що за системні властивості цілого несуть відповідальність всі її частини, а на певний елемент випадає тільки головна відповідальність за певну дію чи властивість. В той же час система впливає на свої елементи, підпорядковуючи їх діяльність головній меті свого існування. Таким чином виявляється ефект єдності цілого і частин цього цілого.

В системі відбувається взаємодія між окремими її елементами, між компонентами, між підсистемами, між системою і зовнішнім середовищем. Виділяються два види такої взаємодії: механічна та органічна [1].

Механічна взаємодія властива переважно простим, механістичним системам. Особливістю таких систем є те, що будь-який елемент може бути видалений із системи і не зазнає при цьому жодних змін, залишається таким, яким він був у системі. Сама ж система в результаті вилучення елемента зміниться, порушаться або призупиняться певні її функції.

Органічний тип взаємодії (назва походить від слова «організм») властивий для живих та соціальних систем, які характеризуються виключно тісною взаємодією, взаємним нелінійним зв'язком як самих елементів один з одним, так і кожного з них з системою в цілому. Однією з визначальних властивостей таких систем є їх здатність *відтворювати* елементи з минулого стану системи, породжувати ці елементи в нинішньому, як основу для розвитку в майбутньому.

Виділяють такі *типи взаємодії* в системі.

1. *Взаємодоповнення* — взаємодія елементів зумовлює необхідність спільного існування і неможливість існування одного без іншого (електрон і атомне ядро, планета і Сонце).
2. *Гармонійна рівновага* — елементи таким чином змінюють свої якості, щоб забезпечити існування елементів з протилежними функціями (коренева система і крона дерева, полюси магніту). Суперечність такої взаємодії полягає в тому, що кожний елемент є джерелом існування своєї протилежності.
3. *Використання* — елемент втрачає зв'язок з джерелом свого існування і використовує функціональні якості своєї протилежності або й самого протилежного елемента (хижак і нехижак, трав'яні тварини і рослини).

Взаємодія системи з середовищем виявляється у її зв'язках з об'єктами, що не входять до її складу. Потрібно зауважити, що зовнішнє середовище системи може бути неорганізованим та організованим (суперсистема). Умови зовнішнього середовища, без яких система не може існувати і розвиватися, називаються *необхідними*. Умови, які не створюють суттєвого впливу на систему або впливають на неї випадково, називаються *супутніми*.

Система дуже тісно взаємодіє зі своїм середовищем. Іноді непросто знайти межу, яка відділяє систему від середовища, яка показує чи відноситься об'єкт до системи, чи до середовища? Критерієм для визначення такої межі є характер і ступінь участі певного об'єкта в створенні системи. До системи відносяться тільки ті об'єкти, які беруть пряму, безпосередню участь у створенні системи.

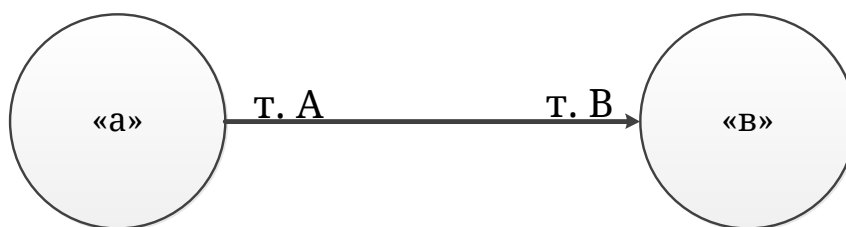
Система взаємодіє з середовищем через *речовинний, енергетичний та інформаційний* обмін. Чим вищий рівень організації системи, тим вона, з одного боку, є більш чутливою до середовища, а з іншого — більш активно впливає на це середовище. Тобто, система і середовище взаємозмінюють одне одного.

Взаємодія в системі здійснюється в переважній більшості через зв'язки між елементами всередині системи, зв'язки елементів із зовнішнім середовищем. Під зв'язком зазвичай розуміють потоки (обмін) речовини, енергії, інформації між елементами. Зв'язки є невід'ємним атрибутом системи, без зв'язків існування системи принципово неможливе. Роль зв'язків у формуванні (житті, існуванні) системи виявляється через такі найважливіші аспекти [19, с. 105]:

- системоутворюючий — зв'язки виступають підґрунтям утворення системи, забезпечують здійснення взаємодії елементів, їх взаємовплив та взаємозалежність, участь в загальносистемних процесах;
- специфікаційний — зв'язки задають певні властивості конкретної системи, що притаманні саме для цієї системи і, таким чином, визначають специфіку цієї системи;
- вітальний — зв'язки забезпечують життєдіяльність системи, вони забезпечують обмін системи із зовнішнім середовищем.

За змістом (субстратом) зв'язки можуть бути матеріально-речовинними, енергетичними та інформаційними.

Для виявлення певних видів (типів) зв'язків доцільно застосувати такі поняття, як «вхід», «вихід», «потік». Ці поняття ілюструються графічно (рис. 3.1), де т. А — означає вихід (речовини, енергії, інформації) з елемента «а»; т. В — вхід до елемента «в»; відрізок «АВ» — потік речовини (енергії, інформації) від елемента «а» до елемента «в».



Малюнок 3.1. Схема зв'язку між елементами

Ю. П. Сурмін виділяє такі основні різновиди зв'язків між елементами: направлені та ненаправлені; односторонні, двосторонні та багатосторонні; постійні та переривчасті; рівноправні та нерівноправні [19].

Н. Б. Чорней на основі співвідношення вхідних і вихідних величин виділяє такі типи взаємодії елементів:

- одномірно-одномірний (однофункціональний) — елемент з одним входом і одним виходом;
- одномірно-багатомірний — елемент з одним входом і декількома виходами;
- багатомірно-одномірний — елемент з декількома входами і одним виходом;
- багатомірно-багатомірний — елемент з декількома входами і декількома виходами.

Сутнісна оцінка зв'язків найповніше виявляється через їх роль у функціонуванні (існуванні, розвитку) системи. За цією ознакою доцільно розрізняти такі найпоширеніші види зв'язків:

- причинно-наслідкові — один елемент (явище) породжує властивості іншого елемента;
- зв'язки перетворення — в результаті зв'язку між двома елементами вони обидва переходять в інші стани;
- зв'язки побудови (структурні зв'язки) — в результаті постійних зв'язків між елементами тримається каркас системи;
- зв'язки управління — переважно інформаційні зв'язки, що змінюють поведінку (траєкторію) системи.

Потрібно зауважити, що на думку переважної більшості вчених проблема зв'язків у системі є далеко не повністю дослідженою та не вирізняється теоретичною глибиною й конкретністю, а тому потребує подальшого вивчення та узагальнення.

3.2. Роль суперечностей в функціонуванні системи

Діалектика, як метод пізнання світу, стверджує, що народження нового є результатом взаємодії суперечностей. Відношення між складовими частинами системи або її зовнішнім середовищем розрізняються за ступенем їх відмінності: тотожність, відмінність, протилежність або власне суперечність. Будь-яке неспівпадання (відмінність) може виявитися в подальшому як зародок нової якості (властивості), яка в даний момент ще не притаманна системі. В подальшому неспівпадання поглиблюються і, в підсумку, перетворюються в певну несумісність, що поширюється спочатку на окрему частину системи, а потім набуває більш довершених форм, які виявляються в структурних, організаційних, елементних змінах. Цей процес завершується співіснуванням двох утворень: «старої» системи, яка переродилася, бо виділила з себе дещо нове та протягом цього акту взаємодіяла з ним, та нового утворення, яке набуло завершеної форми та певної самостійності.

Джерелом життєдіяльності системи можуть бути як *внутрішні суперечності* між елементами системи, так і зовнішні суперечності між системою та її середовищем.

Суперечність — це неспівпадання, відмінність, протидія, структурна або організаційна несумісність в процесі взаємодії між складовими частинами системи.

У філософській літературі виділяють три види суперечностей: 1) суперечності між якісно тотожними елементами; 2) суперечності між функціонально диференційованими елементами; 3) суперечності між протилежними елементами.

Суперечності між якісно тотожними елементами — це перша форма суперечності, що виникає одночасно з виникненням системи, тобто з виникненням взаємодії між її елементами. Це внутрішнє протиріччя системи, що народжується. Але це протиріччя неминуче приводить до диференціації цих елементів, до зміни характеру взаємодії між ними, а отже, до зміни типу суперечності. Протиріччя *між різноякісними елементами* — це, наприклад, взаємодія протонів і нейтронів в ядрі атома або взаємодія молекул різних газів, або хижаків різних видів. Диференціація елементів в той же час сприяє посиленню їх взаємозалежності. Взаємодія між ними набуває характеру співробітництва, взаємодоповнення. Тобто саме диференціація виступає головним *інтегруючим фактором* системи. Перетворення системи в цілісність відбувається саме внаслідок диференціації та зв'язаних з нею процесів інтеграції.

Диференціація елементів системи зумовлює появу і розвиток таких якостей, які або сприяють «перемозі» одного елемента над іншим, або утвердженням іншого способу взаємодії, або здатності використовувати принципово інше джерело існування. Все це призводить до якісного перетворення елементів — вони стають протилежностями, та до якісно нового типу взаємодії — *суперечностей між протилежними елементами* (системами). Прикладом таких суперечностей може бути взаємодія типу «електрон — позитрон», «кислота — основа», «добро — зло», «гаряче — холодне».

Загальна схема розвитку суперечності в системі уявляється такою. Кожна суперечність має декілька фаз свого розвитку. Спочатку вона зароджується в надрах минулих суперечностей, потім визріває, повнішає, досягає повного розвитку, витісняючи або відтісняючи на задній план «старі» суперечності; і, насамкінець, доходить до фази вирішення. Такою фазою є перехід до якісно нового рівня розвитку певного процесу, а такий перехід завжди здійснюється у формі стрибка.

Існують головні і другорядні суперечності. Але саме головні суперечності є рушійною силою розвитку системи. До таких суперечностей відносяться: 1) суперечність між елементом і джерелом його існування; 2) суперечність між елементами, які мають спільне джерело існування; 3) суперечність між системою та зовнішнім середовищем, зокрема з тією його частиною, від якої залежить джерело існування системи. Під джерелом існування в даному випадку розуміють все те, що забезпечує збереження чи зміну системи (джерела енергії, інформації, харчування, стійкості). При цьому гострота суперечностей змінюється синхронно, тобто посилення суперечності хоча б одного елемента з джерелом його існування неминуче викликає посилення суперечності між елементами, які мають те ж саме джерело існування. А відповідно послаблення суперечності елемента з джерелом існування зменшує його суперечність з тотожними за джерелами існування елементами.

В системі можуть існувати такі *типи суперечностей*.

1. Гостра суперечність характеризується інтенсивним протиборством елементів, їх взаємовідштовхуванням, взаємовиключенням, взаємопригніченням. Така суперечність може виникати як між протилежними (електрон — позитрон, хижак — жертва, добро — зло), так і між диференційованими (слабий і сильний хижак, розвинута і нерозвинута держава), так і між тотожними (електрон — електрон, хижак — хижак, країна — країна) елементами (системами). Але, будучи спільною за інтенсивністю прояву, ця суперечність має різні наслідки в залежності від якості взаємодіючих елементів. Так, результатом гострої суперечності між тотожними елементами буде, наприклад, взаємне відштовхування електронів, а така ж суперечність між протилежними системами (елементами) приведе до їх якісного перетворення.
2. Рівноважна суперечність характеризується такою взаємодією елементів, результатом якої є рівновага між ними (електрон — протон, коріння і крона дерева, асиміляція — дисиміляція). Звичайно, рівновага не є постійною, вона може вилитись в іншу суперечність, наприклад гостру.
3. Прихована (слабка) суперечність характеризується переважанням співпраці, взаємостимуляції, взаємодоповнення. Цей тип суперечності може виникати в процесі взаємодії будь-яких елементів (систем).
4. Безпосередні суперечності — це взаємодія без проміжних ланок (хижак — жертва, паразит — «господар», електрон — позитрон). Безпосередні суперечності мають гострий характер, взаємодіючі сторони, як правило, виключають одна одну, одна з сторін завжди є переважаючою. Це суперечність типу «або — або».
5. Асиметричні суперечності характеризуються переважаючим впливом одного елемента на інший. Ці суперечності спостерігаються переважно в органічних та соціальних системах (переважання дисиміляції над асиміляцією, руйнування над створенням, одного соціального класу над іншим).

Існує також декілька варіантів (*форм*) *вирішення суперечностей*.

1. Переважання одного елемента над іншим, однієї протилежності над іншою, що властиве для зрілих систем.
2. Поділ протилежностей та їх загибель. У даному випадку кожний з протилежних елементів, внаслідок взаємодії з джерелом свого існування, суттєво змінюється, в результаті чого суперечність поглиблюється, елементи перестають доповнювати один одного і система гине.
3. Зміна елементів і перетворення суперечності. Наприклад, в системі «хижак — жертва» обидва елементи змінюються в процесі взаємодії настільки, що виникають нові їх види з новими суперечностями. Такі ж приклади є в соціальних системах.
4. Поділ елементів та їх відносно самостійне існування. Наприклад, в результаті хімічної реакції розкладу однієї сполуки (системи) утворюються дві самостійні сполуки, які існують незалежно одна від одної.
5. Загибель системи в результаті загибелі одного з елементів. Наприклад, в системі хижак — жертва (джерело харчування) в результаті зовнішнього впливу може зникнути жертва, тоді загине і хижак, який залишається без їжі.
6. Взаємопроникнення елементів та їх зникнення. Це спостерігається у систем типу магніту.
7. Руйнування системи під впливом випадкових причин.

Таким чином, виникнення та вирішення суперечностей є не тільки джерелом розвитку системи, можна сказати, що суперечності — це зміст, суть життя системи. Суперечності виникають та існують тільки в умовах системи, тобто в умовах, коли є взаємодія між елементами.

3.3. Системоутворюючі фактори

Важливим питанням теорії систем є виявлення суті тих сил, які об'єднують множину в ціле, в систему, тобто вивчення системоутворюючих факторів. Усі фактори системоутворення поділяють на внутрішні та зовнішні.

Зовнішні системоутворюючі фактори — це фактори зовнішнього середовища системи, які сприяють її виникненню і розвитку. Зовнішні фактори — це такі сили, які, сприяючи утворенню системи, в той же час є чужими для її елементів, не зумовлюються і не викликаються внутрішньою необхідністю до об'єднання. Вони не є головними в системоутворенні.

Значно більшу і суттєву роль в системоутворенні відіграють внутрішні фактори, які породжуються властивостями елементів, що входять до складу системи. До таких факторів відносяться: 1) спільність природної якості (сутності) елементів; 2) взаємодоповнення; 3) індукція; 4) фактори стабілізації; 5) зв'язки обміну; 6) функціональні зв'язки; 7) штучні системоутворюючі фактори.

Спільність природної якості елементів, що є необхідною умовою існування багатьох природних систем, виявляється в подібності внутрішньої будови, речовини та зовнішніх функцій елементів. Результати досліджень американських біологів К.Віллі та В.Детьє дають підстави для такого висновку: скупчення особин одного виду здатні виживати в умовах, де одиничні представники цього ж виду загинули б. Так, у табуна оленів менше шансів бути застатим зненацька, ніж в одинокого оленя. Зграя вовків швидше наздоганяє здобич і справляється з нею, ніж один вовк. Лабораторний досвід з золотими рибками дав цікаві результати. В один акваріум помістили зграю золотих рибок, в інший, такий же за розмірами і з такою ж кількістю води, — одну рибку. В кожен з акваріумів було влито однакову кількість токсичної речовини. Одиночна рибка загинула, а група вижила. Подальші дослідження показали, що кількість слизу, який виділила група риб, виявилась достатньою для осадження всієї кількості токсичної речовини, а слизу одиночної риби для цього виявилось недостатньо. Це явище називають ще несвідомою кооперацією (об'єднання з собі подібними). Вона може призводити до утворення складної і стійкої системи.

Взаємодоповнення забезпечує взаємодію як однорідних, так і різнорідних елементів. Відомо, що диференціація елементів до певної межі та їх спеціалізація приводить до зміцнення та вдосконалення системи. Взаємне доповнення різноякісних елементів забезпечує більш тісний зв'язок системи в цілому. Диференційно-інтеграційний процес, так як і координаційно-субординаційний, є необхідним, можна сказати, атрибутивним, фактором системоутворення [1].

Фактори індукції відображають в даному розумінні притаманну всім системам неживої та органічної природи властивість «добудовувати» систему до завершеності. Відомо, наприклад, що уламок кристалу в перенасиченому розчині швидко відновлює свою первинну форму. Явище індукції, що є тотожним за формою в різнорівневих, різноякісних системах, відрізняється в кожному конкретному випадкові складністю та неповторністю процесу. Індукція може відігравати роль фактора системоутворення, але може виступати і стабілізуючим фактором функціонування системи, що досягла зрілості. В той же час явище індукції може сприяти стійкому вияву негативних зворотних зв'язків у системі.

Фактори стабілізації виявляються у вигляді жорстких постійних зв'язків, що обумовлюють єдність системи. Так, рама велосипеда, утворюючи систему, відіграє пасивну роль; її функція може залишатися без змін. Таке ж значення мають каркас будинку, скелет організму. Особливу роль тут відіграє структура, яка є не тільки системоутворюючим, а й системозберігаючим фактором. Так, кристалічна решітка мінералів допускає в окремих випадках навіть повну якісну заміну елементів мінералу, але зберігає форму та взаємозв'язок елементів, які нею об'єднуються. Такі взаємозв'язки можуть змінюватися в межах збереження своєї притаманної якості, забезпечуючи життєздатність системи в різних умовах.

Зв'язки обміну. Обмін являє собою суть будь-якої взаємодії, бо в протилежному випадку не було б жодної взаємодії. Характер обміну, його основа залежить від рівня розвитку взаємодіючих систем. У неорганічній природі основою обміну виступають різні види речовини і поля, енергія, інформація. Існуюче спрощене уявлення про обмін як про поглинання системою одного субстрату та виділення іншого не відображає повністю змісту реального процесу. В дійсності відбувається перетворення одного виду субстрату в інший. Система, сприймаючи від інших систем деяку речовину, що відрізняється від її власної речовини, перетворює цю чужу речовину в тотожну своїй власній, і виділяє якісно нову речовину, що відрізняється як від своєї власної, так і від сприйнятої речовини.

Функціональні зв'язки як системоутворюючі фактори виникають у процесі специфічної взаємодії елементів системи. Можна назвати функціональні зв'язки, що виникають між різними хімічними елементами, взаємодії між хижаками під час полювання, між людьми при спільному виконанні певного завдання. Ці зв'язки мають тимчасовий характер, і системи, що утворюються в результаті таких зв'язків, можуть розпадатись, якщо немає більш сильних, постійно діючих факторів.

Штучні системоутворюючі фактори створюються людиною, як правило, цілеспрямовано. Вони можуть мати як зовнішній, так і внутрішній характер. Штучні фактори будуть зовнішніми, якщо взаємозв'язки між елементами носять індивідуальний характер (купа каміння, мішок зерна і т. ін.). Штучні фактори є внутрішніми, коли система, яку вони утворюють, виступає як єдність взаємодоповнюючих елементів. Було б, наприклад, неточно назвати тепловід системною, що утворена тільки зовнішніми факторами, бо зв'язок його елементів визначається їх взаємодоповненням, координацією, субординацією, тобто притаманними їм властивостями забезпечується взаємне функціонування в цілісній системі. Хоч ці зв'язки в основі своїй є механічними, але тут вони виступають в своїй вищій формі і доповнюються доцільною взаємодією елементів. Стосовно сучасної електронно-обчислювальної машини, то в даному випадку маємо справу не стільки з механічною формою взаємозв'язків, скільки з більш високими формами зв'язків, що організовують систему.

3.4. Мета розвитку системи

Нерідко висловлюється думка про те, що мета є системоутворюючим фактором, тобто елементи об'єднуються та функціонують як ціле заради досягнення певної мети. Дійсно, рух і розвиток системи тільки тоді набуває сенсу, якщо він має мету. Певною мірою це стосується живих систем, які прагнуть до вдосконалення, стійкості, метаболізму, мімікрії. Реально ж мета виступає інтегратором в живій природі тільки на вищих рівнях її розвитку. В соціальній системі мету можна розглядати як системоутворюючий фактор, але не прямий, а опосередкований. Але мета не може об'єднувати елементи неживої природи, бо тут вона виступає як формальна тенденція розвитку, як неминучість існування. Адже не можна говорити, що атоми кристалу свідомо об'єднувались заради якоїсь мети. В той же час розвиток кристалу має спрямований характер, бо він неминуче набуває цілком визначеної форми, яка є результатом його розвитку. Досягнення такої форми пов'язане зі структурним впорядкуванням атомів, їх рухом, енергетичним станом. Але така структурна перебудова здійснюється не тому, що атоми завчасно зорієнтовані на зміни свого просторового стану, взаємозв'язків і енергії, а через внутрішні причини, завдяки взаємодії між атомами.

У *штучно створених системах* розвиток виявляється, наприклад, через збільшення надійності, поліпшення показників стійкості, перебудову системи в інтересах зменшення витрат ресурсів. Цілеспрямовано створюючи систему, суб'єкт має закласти в неї бажану концепцію розвитку подій в потрібному напрямі. Тоді в процесі власної еволюції, раціонально витрачаючи наявні ресурси, система буде прагнути досягти поставленої мети. Тут власне йде мова про управління як певний примусовий вплив на систему, який покликаний скоригувати природний рух, що визначений вихідними умовами, енергетичним станом та процесами обміну системи з середовищем. Нагородою за таке «насильство» над системою буде досягнення мети.

Поняття мети застосовується не лише до системи в цілому, але й до її елементів. Важливим є те, щоб локальні цілі окремих елементів узгоджувались з загальною метою системи.

При вивченні систем окрім терміна «мета» (ціль) для визначення її руху та призначення використовують поняття «задача». В дослідженні динамічних систем мета фіксується через бажані стани, тобто кількісно, а під «задачами» розуміється якісний опис вимог до результатів функціонування системи, тобто яких параметрів вона повинна досягти на певний час, на певній траєкторії руху. Найбільш характерним є такий стан для систем, де формулюється низка послідовних задач, а після виконання кожної задачі система перебудовується структурно або організаційно для наступного розвитку, залучаються нові ресурси, змінюються впливи зовнішнього середовища. Саме таким чином вирішуються задачі в політиці, економіці, бізнесі, військовій справі, будівництві, тобто в тих сферах, де існує ієрархія та певна технологічна послідовність вирішення складної проблеми.

Таким чином, визначення мети та вибір засобів її досягнення становлять сенс вивчення систем. Існування теорії систем виправдане можливістю на основі використання цієї теорії досягати бажаного стану системи.

Запитання для самоконтролю

1. Які причини взаємодії елементів у системі?

2. *Яка роль зв'язків в утворенні системи та її структури ?*
3. *Яка роль диференціації елементів у розвитку системи ?*
4. *Назвіть форми вирішення суперечностей та їх вплив на розвиток системи.*
5. *Яку роль відіграють зв'язки в системоутворюючих факторах?*
6. *За яких умов мету можна розглядати як системоутворюючий фактор ?*

Розділ 4.

ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМ

4.1. Утворення системи

Будь-яке явище, система мають свій початок, але вони не виникають на голому місці, з нічого, а виникають на основі попереднього, в його надрах і виявляються за наявності *сприятливих умов*. Ще Лукрецій в своєму трактаті «Про природу речей» стверджував, що «з нічого..., ніщо не народжується». Виникнення пов'язане з категорією «нове». Поява нового і є виникненням, а нове зароджується в надрах старого. Будь-яка система має свій граничний поріг. Не можна, наприклад, безмежно вдосконалювати такий механічний агрегат, як пароплав. Вугілля як енергетичне джерело вичерпує себе. Подальше вдосконалення пов'язане з іншим видом палива, джерелом енергії, яке викликає появу нової системи — тепловід, а той, в свою чергу, стає основою для створення нової системи — електрохода. Такий граничний поріг і можна розглядати як початок виникнення нової системи. Процес виникнення поділяють на два етапи: 1) прихований, коли в надрах старого з'являються нові елементи, відбувається їх кількісне зростання; 2) явний, коли нові елементи утворюють нову структуру, тобто нову якість [1, с. 170]. Процес виникнення поєднує в собі діалектичну єдність поступовості (прихований етап) і стрибка (утворення нової якості). Поява нового в надрах старого у вигляді окремих нових елементів та їх кількісне зростання — це стан виникнення нової якості, етап, без якого не можна пояснити стрибкоподібну появу нової якості (нової системи).

Виникнення являє собою складний процес взаємодії суперечливих сторін, що приводить до утвердження нового, тобто це суперечлива єдність поступовості і стрибка, кількісного зростання і якісних перетворень. Виникнення системи починається з того моменту, коли між елементами нового утворюються зв'язки. Проте спершу зв'язок між елементами нового має нестійкий характер, тобто нова система знаходиться на грані переходу з можливості в дійсність. Нова якість вже існує, але вона повинна ствердити себе, тобто, виникнувши, вона повинна «стати». Існує багато форм виникнення: притягування та відштовхування, роз'єднання і об'єднання зустрічаються в найнесподіваніших поєднаннях.

Можна вважати, що система виникла тільки тоді, коли реалізовані обидва етапи: поступовість і стрибок. Цілковито можливо, що тривалий час відбуватиметься накопичення нових елементів, вони можуть об'єднуватися і диференціюватися в межах даної системи, але це ще не означає виникнення нової системи, бо їх існування цілком і повністю підпорядковане існуванню старої (базової) системи. Для того, щоб виникла нова система, повинен відбутися стрибок, тобто внутрішнє взаємозамикання нових елементів, їх спільна автономізація або її відокремлення від базової системи. Ця стара базова система, її старі елементи ще тривалий час будуть існувати, створюючи відчутний вплив на нову систему, яка тільки набирається сил. Такий процес співіснування старого і нового в межах системи одержав назву перехідного етапу. Його доцільно розглядати як початковий *етап становлення системи*.

4.2. Становлення системи

Становлення — це етап у розвитку системи, в результаті якого вона перетворюється в розвинену систему або ціле. Тенденція до кількісного збільшення *тотожної множини* елементів (об'єктів) спостерігається і в неорганічній природі, і в живих системах. Але лише кількісним зростанням (як продовженням процесів виникнення) неможливо пояснити властивості цілісності, що виникають в процесі становлення. Існують також інші причини.

До них належить суперечність між якісно тотожними елементами. Внаслідок таких суперечностей виникає тенденція до *просторового розширення* системи. Виникнувши, якісно тотожні елементи намагаються розійтися (поширитися) в просторі. Це «прагнення» зумовлене безперервним кількісним зростанням цих елементів та виникаючими між ними суперечностями. Але поряд з цим елементи не виходять за межі сприятливого середовища, в якому існувала і в створенні якого брала участь стара система. Вихід за межі цього середовища може стати смертельним для елементів нової системи. З іншого боку, на нові елементи впливають в цей час інші системи, які існували раніше в даному середовищі і продовжують в ньому існувати. Вони й перешкоджають проникненню нових елементів до середовища свого існування. Таким чином, знаходячись в певній суперечності між собою, нові елементи під впливом зовнішнього середовища та умов існування опиняються в єднанні, в опосередкованому взаємозв'язку. При цьому тенденція їх

розвитку така, що внутрішні суперечності між якісно тотожними елементами зумовлюють їх тісну взаємозалежність. Розташовані в просторі різним чином, елементи зазнають різного впливу оточуючого середовища і в результаті набувають специфічних властивостей та ознак. Разом з тим у елементів в процесі їх взаємодії між собою закріплюються і розвиваються тільки ті властивості, які відсутні в інших. Це відбувається тому, що будь-яка властивість, яка відрізняє один елемент від іншого, дає можливість першому іншим чином отримувати засоби для існування.

Ось як, наприклад, описують процес становлення атомів. Якось існувала «популяція» елементарних частинок. Між ними відбувалися процеси комбінаторики, а комбінації піддавались відбору. Комбінаторика підлягала певним ступеням свободи і обмеженням, що діяли в світі елементарних частинок. Виживали тільки такі комбінації, які «допускались» середовищем. Це були процеси фізичної еволюції матерії, результат її — система атомів таблиці Д. Менделєєва. Тривалість такої еволюції приблизно декілька десятків мільярдів років.

Найбільш наочно етапи становлення системи можна прослідкувати на системах, які знаходяться на різних рівнях складності. Академік О. Опарін, наприклад, так описує процес диференціації: інфузорія як одна клітина — губка вже має «поділ праці» між клітинами (живлення, опора, розмноження) — кишково-порожнинні володіють клітинною організацією, яка приводить до утворення тварини, — далі іде органічний рівень організації у вигляді плискатих черв'яків, — далі іде системний рівень, коли декілька взаємодіючих органів об'єднуються в функціональні системи.

Таким чином, становлення системи є суперечливою єдністю процесів диференціації та інтеграції. Саме *диференційно-інтеграційний* процес, що здійснюється в системі, є організаційним процесом, що визначає сутність етапу її становлення. Елементи організуються так, що їх взаємозв'язаність стає якнайбільшою в даних умовах. Тим самим система перетворюється в організовану систему, або ціле.

4.3. Досконалість системи

Досконалість системи — це стадія найвищого розвитку, яка характеризується її високою цілісністю, організованістю. Це стадія *зрілості* системи. Однією з суттєвих ознак цієї стадії розвитку системи є наявність в ній домінуючих протилежних підсистем, кожна з яких об'єднує елементи з функціональними властивостями, які є якісно протилежними властивостями іншої підсистеми. В стадії зрілості система продовжує свій розвиток лише шляхом *кількісного збільшення* тотожно-диференційованих елементів, але також до певної межі.

Приклад для ілюстрації. Організми міксоміцети, що нагадують в певному циклі розвитку амебу, розмножуються в чашці з агаром, поглинаючи бактерії. Популяція міксоміцети зростає за рахунок збільшення кількості собі подібних. Але з часом настає момент, коли кількість бактерій, які є джерелом живлення міксоміцети, зменшується. Тут поведінка амебоподібних організмів різко змінюється. Замість того, щоб хаотично пересуватися по агару, вони починають збиратися в скупчення. Ці скупчення приваблюють до себе все більше і більше амебоподібних клітин. Процес скопичення приводить до утворення драглистої багатоклітинної маси, або плазмодію, який певний час пересувається поверхнею агару як єдине ціле. Потім він втрачає рухливість. Окремі амеби, які досі не відрізнялись одна від одної, тепер утворили декілька різних типів. Фактично вони перестали бути окремими організмами і перетворилися в спеціалізовані клітини багатоклітинної тканини. При цьому також відбувається сегрегація клітин, або диференціювання, яка приводить до утворення в організмі репродуктивних і не репродуктивних одиниць. Не репродуктивні клітини живлять клітини зародкового типу, сприяючи тим самим збереженню і неперервності цього типу. В даному прикладі добре видно, як тотожність елементів переходить в їх відмінність, а відмінність у протилежність, бо репродуктивні (зародкові) і не репродуктивні (соматичні) клітини є протилежностями [1, с. 197].

Таким чином, період зрілості будь-якої системи має достатньо чітку *початкову межу*, яка виражається в переході *відмінностей* між її основними елементами (або підсистемами) в *протилежність*. Роздвоєння системи на протилежності забезпечує її відносно рівноважний стан і можливість тривалого існування, в період якого відбуваються переважно кількісні зміни у співвідношенні протилежних елементів. Ці кількісні зміни є передумовою якісних змін в системі.

В період своєї зрілості система є внутрішньо суперечливою не лише за рахунок глибокої диференціації елементів, яка приводить до взаємної протилежності цих елементів. У цей період система вступає в подвійний стан — з одного боку, вона ще є цілісною системою, а з іншого, внаслідок своєї довершеності, вона вже є носієм властивостей (елементом) якісно вищої системи. Тут знову ж таки спостерігається суперечність між прагненням системи якнайповніше розкрити свої можливості та між обмеженнями, які виникають з боку «вищої» системи. Ця суперечність відбувається на елементах «зрілої» системи — більші можливості для розвитку мають ті елементи, функції яких відповідають потребам вищої системи. Тобто відбувається процес *спеціалізації* системи за рахунок саме таких її елементів. Тепер вже вона може існувати тільки в тому новому середовищі, в якому сформувалась. Внаслідок цього відбувається перехід зрілої системи в інше середовище. Такий перехід неминуче викликає перетворення системи.

Таким чином, зріла система підходить до стадії свого якісного перетворення як в результаті внутрішніх суперечностей, які виводять її з рівноважного стану, так і в результаті її переходу до іншого середовища або якісної зміни зовнішнього середовища системи.

4.4. Якісне перетворення системи

Перетворення системи — це перехід її у нову якість. *Процес перетворення існуючої системи є одночасно і процесом виникнення нової системи*, відповідно, в загальних рисах і механізм перетворення є одночасно механізмом виникнення. Проте процес і механізм якісного перетворення системи мають свої особливості.

Велику роль у перетворенні системи відіграють *суперечності з середовищем*. Наприклад, в результаті метаморфізму з розплавленої магми виділяються тверді породи, які піднімаються на поверхню Землі. Якщо в момент виникнення та існування в умовах земних глибин спосіб взаємодії кожного елемента з оточуючим середовищем, їх функції відповідали одному певному типу обміну або типу зв'язку між ними, то в умовах земної поверхні між цими двома процесами виникає суперечність. Зовнішнє середовище впливає на елементи системи та систему в цілому таким чином, що змінює функції взаємодіючих елементів та їхній спосіб взаємодії з нею. Оскільки змінюються функції окремих елементів, то, цілком природно, ослаблюється та видозмінюється їх зв'язок з рештою елементів, які функціонують «по-старому». Відбувається зменшення кількості старих елементів та накопичення нових елементів, які володіють новим способом взаємодії з новим середовищем. Одна система відмирає, інша система виникає на основі старої.

Задувані раніше диференціаційні процеси, явища внутрісистемної спеціалізації елементів можуть не тільки сприяти гармонійному розвитку (зрілості) системи. Вони при певному збігові внутрішніх та зовнішніх умов можуть набувати такого розмаху, який приводить до руйнування старої системи та утворення нової. В цьому також полягає одна з особливостей перетворення системи.

Загалом виділяються зовнішні та внутрішні причини процесу перетворення. Ці причини різною мірою виявляються в різних системах.

Зовнішні причини перетворення системи.

1. Зміна умов зовнішнього середовища, що викликає функціональну зміну елементів. У середовищі, яке постійно змінюється, тривале існування незмінної системи неможливе: будь-яка зміна, як би повільно та непомітно вона не відбувалася, неминуче приводить до якісного перетворення системи. До того ж зміна зовнішнього середовища може відбуватися як незалежно від системи, так і під впливом самої системи. Наочним прикладом є діяльність людини, яка перетворює природне середовище не лише на користь, але й на шкоду собі.
2. Проникнення в систему чужих об'єктів, які приводять в певних випадках до функціональних змін окремих елементів (перетворення атомів хімічних елементів під впливом космічного випромінювання, отруєння організмів і т. ін.).

Внутрішні причини перетворення систем.

1. Безперервне кількісне зростання диференційованих елементів системи в обмеженому просторі, у результаті чого загострюється суперечність між ними.
2. Накопичення помилок в реплікації, тобто у відтворенні собі подібних. В біології це явище, називають мутацією, яка неминуче супроводжується функціональними змінами живих організмів (систем) у прогресивному або регресивному напрямі. Якщо «мутант» більше відповідає зміненому середовищу, то він починає інтенсивно розмножуватися. Це і буде виникненням нового, яке вступає в суперечність зі старим. Взагалі *суперечність між функцією елемента і типом обміну* між елементами в системі є, по суті, суперечністю між виникаючим новим і старим, що опирається змінам.
3. Припинення зростання і відтворення елементів, що складають систему, внаслідок чого вона вмирає. Це перетворення є наслідком як внутрішніх, так і зовнішніх причин, але відбувається воно в системі, а не в середовищі.

Дослідження еволюційних етапів системи дає підстави стверджувати, що зріла система характеризується *єдністю та постійністю* структури, складу, функцій елементів. Умовою того, щоб система зазнала якісних перетворень, є, очевидно, зміна хоча б однієї з цих ознак. Неоднаковий характер і різна послідовність зміни ознак зумовлює різні *форми перетворення системи*. Найбільш поширеними формами якісного перетворення системи є наступні.

1. Перетворення, що приводять до знищення всіх елементів системи (руйнування атома, розпад кристала, смерть організму і т. ін.).
2. Перетворення системи в якісно інший, але відмінний за ступенем організованості стан. Воно відбувається з таких причин:
 - зміна складу елементів системи (заміщення в кристалі атомів одного елементу атомами іншого);
 - функціональна зміна окремих елементів і підсистем в системі (наприклад, перехід ссавців від сухопутного способу життя до водного).
3. Перетворення системи в якісно інший, але нижчий за ступенем організованості стан. Воно відбувається з таких причин:
 - функціональні зміни елементів і підсистем (приспособлення окремих видів рослинних і тваринних організмів до паразитичного способу життя);
 - структурні зміни (наприклад, перехід алмаза в графіт за рахунок зміни структури кристала).
4. Перетворення системи в якісно інший, але вищий за ступенем організованості стан. Воно відбувається як в рамках однієї форми руху, так і при переході системи від нижчої до вищої форми руху. Кількісне збільшення елементів в системі або їх енергії неминуче приводить систему до такого стану, *коли форма зв'язку між елементами виявляється невідповідною способу їх існування*. Рівновага системи порушується. Відбувається руйнування старої форми зв'язку і утворення нової форми зв'язку між елементами. Якщо розглядати цей процес в рамках одного виду руху матерії, то виявляється така картина: відбувається зміна форми зв'язку між елементами, вся попередня структура руйнується, але елементи, що завершують попередню форму руху, зберігаються. Прикладом може бути перетворення речовини з газоподібного стану в рідкий, а потім в твердий стан. Атомний склад при такому перетворенні не змінюється, але форма зв'язку між атомами змінюється.
5. Розмноження системи, в основі якого лежить безперервне кількісне збільшення елементів, що її складають. Розмноження — це збільшення (примноження) кількості якісно-тотожних (однакових) систем. У період зрілості, коли диференціація в цілому завершилась роздвоєнням елементів на протилежності і утворилась стійка структура, система виявляється нездатною утримувати в собі безперервно зростаючу кількість елементів, тому вона вимушена поділитися. Починається цикл розвитку нових систем, який в загальних рисах повторює механізм розвитку попередніх систем.

Таким чином, перетворення — неминучий стан в розвитку системи. Система вступає в цей стан в результаті зростаючих суперечностей між новим і старим, між протилежними елементами, між зміненими функціями елементів та старим характером зв'язків між ними. Перетворення є періодом дезорганізації системи, коли старі зв'язки між елементами руйнуються, а нові ще тільки створюються. Перетворення може означати і реорганізацію системи, а також перетворення системи як цілого в елемент вищої системи.

4.5. Еволюційні стани системи

Викладені відомості про розвиток систем дають підстави для таких загальних, але суттєвих зауважень щодо їх еволюції. По-перше, будь-яка система (еволюційно чи примусово, цілеспрямовано) проходить закінчений цикл розвитку, що містить низку певних стадій. Хоча, як виняток, в окремих випадках система може обминути ту чи іншу стадію. По-друге, система, досягнувши стадії зрілості, отримує можливість розмноження, тобто множення певним чином самої себе. По-третє, будь-яка система має в кінцевому підсумку свій природний поріг існування та зникає (вимирає), перетворюючись в інші системи, нерідко пов'язані з іншими формами руху матерії.

Загалом є достатні підстави для виділення таких еволюційних станів системи: зародження — становлення — оптимальний стан — конфліктний стан — кризовий стан — катастрофа — релаксація.

Оптимальний стан — це період зрілості, найвищого розвитку системи, коли відбувається стабільне гармонійне функціонування (взаємодія) всіх елементів. У такому стані спостерігається найбільша міра відповідності між метою та функціями системи, між «інтересами» системи та «інтересами» даного окремого елемента. Оптимальний стан — це «найкращий» стан системи в певний період часу, коли забезпечується її стабільний розвиток при умові гармонійного функціонування (взаємодії) всіх складових частин (елементів). Такий стан може тривати довго, але не вічно.

Він змінюється конфліктним станом, який характеризується відхиленням окремих параметрів системи від оптимальних значень. Ці відхилення не мають характеру якісних змін в системі, але вони суттєво впливають на внутрішні процеси в системі та її взаємодію із зовнішнім середовищем. Такий стан системи може бути викликаний механічним порушенням одного або кількох (небагатьох) елементів.

Конфліктний стан — це своєрідний перехідний стан системи. Внаслідок взаємозв'язку та взаємообумовленості елементів системи відхилення від оптимальних параметрів, як правило, будуть ланцюговоподібно зростати, що приведе систему до нової якості — кризового стану.

Криза — це такий стан системи, коли в її функціонуванні відбуваються якісні зміни, що викликані деструктивним впливом зовнішніх факторів. У цьому стані зміни в системі відносно повільно і плавно переходять від кількісних до якісних. Наявно виявляються ознаки безповоротних якісних змін у взаємозв'язках елементів та у внутрішній природі самих елементів. Кризовий та конфліктний стани можуть перерости у катастрофу.

Катастрофа — бурхлива зміна структури та функцій системи під впливом зовнішніх факторів або в результаті закономірної еволюції попередніх її станів. Розрізняють порогові таточкові катастрофи. Причиною порогової катастрофи є попередній кризовий стан системи. Порогова катастрофа розпочинається при умові, коли масштаби змін (зовнішнього впливу) перевищують верхні граничні можливості системи (відновлення, утилізації, очищення), тобто її саморегулюючі властивості. Порогова катастрофа є закономірним результатом еволюції системи в минулому, коли негативні процеси не були зупинені.

Точкова катастрофа зумовлюється раптовим і сильним впливом зовнішнього імпульсу (наприклад, несподівана аварія на виробничому об'єкті). Попередній стан системи в цьому випадку є мало суттєвим.

Слід врахувати ту обставину, що не існує ні абсолютних катастроф, ні абсолютних криз — це лише певний стан системи по відношенню до інших систем оточуючого середовища. Наприклад, на думку переважної більшості вчених, сучасний стан глобальної еколого-економічної системи — це кризовий стан. В той же час окремі територіальні (регіональні) її підсистеми знаходяться в різних станах: від катастрофічного до оптимального.

Період *адаптації* (релаксації) системи після катастрофи характеризує її стан як кризовий. Але це зовсім не означає, що система буде «еволюціонувати» в зворотному напрямі за рахунок своїх внутрішніх можливостей. Тобто для того, щоб запобігти катастрофі системи та перевести її в оптимальний стан, необхідна цілеспрямована регулююча діяльність людини.

Запитання для самоконтролю

1. Які ознаки етапу становлення системи ?

2. *Яка роль спеціалізації елементів в еволюції системи ?*
3. *Які головні причини перетворення системи ?*
4. *Які можуть бути форми перетворення системи ?*

Розділ 5.

ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ

5.1. Ознаки і властивості систем, їх взаємозв'язок

Теоретичні положення і аргументи попередніх розділів свідчать про те, що системи володіють певними загальними властивостями і ознаками, які виявляються в будь-яких системах незалежно від їх внутрішньої природи, типу, величини, складності, рівня організованості. При цьому потрібно зауважити, що вчені ще не дійшли одностайності в питанні визначення загальних властивостей систем. Таке становище зумовлюється, з одного боку, об'єктивними причинами, що виявляються у великій різноманітності систем та їх різноякісності, з іншого - суб'єктивними цілями, які ставлять перед собою дослідники.

Зокрема, деякі вчені вказують на такі суттєві характеристики цілісної системи, як інтегративність (ємерджентність), склад, структура, взаємодія із зовнішніми умовами. В. Д. Могилевський [10] акцентує увагу на взаємозв'язку середовища і системи, цілісності, суперечливому характері взаємодії, інформаційності, складності, ієрархічності, як головних властивостей системи.

При визначенні загальних властивостей систем необхідно брати до уваги існування сумативних і цілісних систем, що істотно відрізняються своїми властивостями.

Сумативні (адитивні) системи - це відносно нестійкі утворення, які виражають відношення за однією ознакою (наприклад, вік, стать, сімейний стан). Таку просту сукупність доцільно розуміти як сумативну систему на відміну від цілісної єдності. Під *цілісною системою* розуміють сукупність елементів, взаємодія яких породжує такі нові якості, які відмінні (більші, вищі) від суми якостей її складових частин (елементів). Істотні зв'язки між елементами зумовлюють появу в даній сукупності нових властивостей і закономірностей, які відсутні в умовах роз'єднаності елементів. Тому тип взаємозв'язків між елементами визначає тип системи.

Відзначаючи відміну цілісної системи від сумативної, необхідно зауважити, що абсолютної границі між ними не існує.

У процесі еволюції адитивні системи набувають характеру цілісних систем і, навпаки, в результаті дезорганізації, наприклад зростання ентропії, цілісні системи нерідко розпадаються і перетворюються в системи сумативні. Перетворення сумативних систем у цілісні може відбуватись через зміцнення зв'язків вже існуючих компонентів; за допомогою виникнення взаємодії компонентів, що раніше не взаємодіяли; через утворення нових компонентів та їхніх зв'язків та ін. Перетворення цілісних систем у сумативні може відбуватись через ослаблення чи руйнування обмежених зв'язків компонентів; у результаті вилучення чи втрати компонентів [18, с. 20].

На основі цих міркувань підкреслюються такі основні властивості систем.

Цілісність - сукупність елементів системи, що являють собою органічну цілісність; єдність, що володіє загальними властивостями, які відмінні від властивостей окремих компонентів та не зводяться до простої суми таких властивостей.

Подільність - цілісна система завжди складається з частин, елементів.

Різноманітність - кожний елемент володіє відповідними специфічними властивостями, поведінкою, що відрізняються від інших елементів.

Ідентифікаційність - кожний елемент може бути виділений з системи (умовно або фактично, відносно або абсолютно).

Ізольованість - сукупності елементів та їх взаємозв'язки можуть бути оконтурені, відокремлені від середовища та розглядатися відносно ізольовано.

Зростання ентропії - ентропія незалежної системи, що надана самій собі, досягає максимуму і система переходить до стану найбільшого безладу.

Стійкість - здатність утримувати параметри в заданих межах.

Стійкість зв'язків - зв'язки між елементами системи сильніші від зв'язків між елементами і оточуючим середовищем.

Аналіз наведених поглядів свідчить про тісний, нерозривний зв'язок властивостей та ознак системи, який загалом можна виразити так: властивість є внутрішньою змістовною сутністю системи, ще зовнішньо виявляється у вигляді відповідної ознаки. Тобто *ознака - це зовнішній вияв властивості системи*.

Цілком очевидна та обставина, що перелічені властивості СИСТЕМ взаємопов'язані, кожна властивість зумовлює іншу, одна властивість не може існувати без іншої. Але і вияв властивостей, і загальний характер та рівень організації системи визначаються, найперше, зв'язком* між елементами системи. Виходячи із таких попередніх зауважень, де найбільш загальних (ізоморфних) властивостей, які притаманні всім системам, доцільно віднести наступні.

- Властивість цілісності, яка відображає і взаємозв'язок елементів, і емерджентність системи, і її взаємодію з середовищем, і відмежованість її від середовища, і адаптивність, і стійкість.
- Суперечливий характер взаємодії між елементами та між системою і середовищем - як головне джерело розвитку системи.
- Структурність (організованість) - як певний спосіб взаємодії, що виходить з умови цілісності та спрямований на збереження цієї цілісності.
- Функціональність системи - як вияв у кожній системі певних, притаманних лише їй внутрішніх та зовнішніх функцій, оптимальне поєднання цих функцій.
- Ієрархічність системи - як вияв різнорівневої підпорядкованості елементів, що відображає певний рівень та складність організації системи.
- Інформаційність системи - як умова її самоорганізації та передумова зовнішнього управління системою.

5.2. Цілісність системи

Цілісність є головною, визначальною властивістю системи. Для виявлення системності необхідне, насамперед, знання цілісності, а не навпаки. Таке співвідношення понять «цілісність» і «системність» виявляється і підтверджується як історією науки, так і кожним конкретним дослідженням. Дотримання такого співвідношення є необхідною умовою системного дослідження.

Поняття цілого і системи («цілісності» і «системності») відрізняються між собою також і за змістом: по-перше, за ступенем абстрактності; по-друге, по суті. Якщо системність передбачає наявність зв'язків між компонентами об'єкта, їх впорядкованість, то цілісність відображає силу та істотність цих зв'язків у порівнянні із зовнішніми зв'язками об'єкта. Саме істотність та більша сила зв'язків даних частин однієї з одною, ніж з іншими об'єктами, і створює цілісність, якісну визначеність, виділеність даного об'єкта.

Будь-яке явище дійсності зв'язане з іншими великою кількістю різноманітних зв'язків та відношень: можна з певною мірою умовності говорити, що опосередковано дане явище взаємодіє з усіма існуючими явищами. В універсальному взаємозв'язку виявляється властивість неперервності матеріального світу. Проте в такій неперервності спостерігаються помітні відмінності в *інтенсивності взаємодії* між окремими явищами. Власне відмінність в інтенсивності зв'язків та відношень і дозволяє виділяти «окремі» явища, що, в свою чергу, і є виразом їх цілісності, певної автономності, незалежності. А це й буде виявом перервності (дискретності) реальної дійсності, що виступає в формі «окремоті» об'єктів як наслідку їх цілісності.

Інтенсивність внутрішніх зв'язків об'єкта, відносно більша величина їх сили, міцності та постійності створює нові властивості (або стає умовою їх вияву), робить якісно відмінним даний об'єкт від усіх інших (кількісні зміни сили зв'язків зумовлюють якісні зміни їх форми). Структура, що об'єднує елементи і властивості об'єкта, виступає як певний закон даного об'єкта чи класу об'єктів. Цей закон є об'єктивним, його існування не залежить від нашої волі, і тому, як би ми не комбінували всі можливі варіанти поєднання властивостей та елементів, річ (система, об'єкт) буде залишатися такою, якою вона є. І якщо ми захочемо пізнати, яким є «закон» цього об'єкта, ми повинні звернутися до самого об'єкта або до такої

логічної моделі, яка ізоморфна його структурі (адекватно, істинно відображає цей реальний об'єкт у свідомості людини), а не до довільного поєднання його певних, окремих властивостей і відношень. Це означає, що «системність» ідеальних моделей (а відповідно, їх цілісність і впорядкованість) повинна бути адекватним відображенням відповідних їм реальних систем (об'єктів).

Загалом можна говорити, що властивість цілісної системи акумулює і синтезує такі її характеристики, як взаємозв'язок і взаємодію елементів, відмежованість від середовища, інтегративність, взаємодію з середовищем.

В основі утворення і функціонування будь-якої системи лежать зв'язки між її елементами та взаємодія таких елементів. Найістотнішим виразом зв'язків є *обмін* між елементами. Тобто зв'язки обміну - це є потоки речовини або енергії, або інформації, або сукупність їх від одного елемента системи до іншого. Зв'язки також зумовлюють взаємодію та певні відношення між елементами. Наприклад, функціональні зв'язки, взаємодоповнення, компенсаційні зв'язки і т. ін. Чим складніша система, тим більша кількість і різноманітність її взаємозв'язків. З іншого боку, складність взаємозв'язків визначає складність системи.

Іншим виявом цілісності системи є її відмежованість від зовнішнього середовища. Одне з найбільш лаконічних визначень системи: система є відмежована сукупність взаємодіючих елементів [1, с. 43] Діалектика понять цілісності і відмежованості досить складна. Так М. Сетров стверджує, що зовнішня відмежованість предмета і є виразом його внутрішньої цілісності [17]. Але А. Авер'янов звертає увагу на те, що відмежованість є зовнішньою властивістю системи, в той час як «цілісність» - її внутрішня властивість, якої вона набуває в процесі розвитку. Система, за словами цього вченого, завжди є відмежованою, але не завжди цілісною. В той же час достатньо очевидно є взаємозалежність і взаємна невіддільність цих понять, бо чим більше система виділена, відмежована від середовища, тим більше вона внутрішньо цілісна, індивідуальна, оригінальна [1].

Цілісність системи виявляється у великій інтенсивності внутрішніх взаємозв'язків між її елементами, але це не означає, що система абсолютно відмежована, тобто це не означає відсутність взаємозв'язків системи з середовищем її існування. Навпаки, *взаємодія системи з середовищем є обов'язковою умовою* функціонування системи і це є ще одним виявом її цілісності. Бо саме цілісність зумовлює певну відмежованість системи від середовища та необхідність її взаємодії з цим середовищем. Роль середовища, як умови існування системи, надзвичайно велика. Бо саме середовище є одним з головних факторів зародження, становлення, розквіту та руйнування системи (про це більш докладно викладено у розділі 4).

Цілісність системи зумовлює також виникнення нових *інтегративних*, системних якостей, що не властиві окремо взятим її компонентам, не зводяться до простої суми їх властивостей. Ціле завжди більше суми частин, що його утворюють, - у цьому суть інтегративної властивості системи, яку називають емерджентністю.

Від сили вияву властивості емерджентності значною мірою залежить *стійкість* (надійність) системи, яка визначається як здатність системи та її елементів безвідмовно функціонувати в умовах деструктивного впливу (механічного, енергетичного, інформаційного) зовнішнього середовища системи. Це означає, що стійка система здатна зберігати свою структуру та виконувати притаманні їй функції в несприятливих умовах середовища, тобто протистояти та переборювати негативний вплив середовища (за рахунок свого внутрішнього потенціалу (резерву) розвитку). У зв'язку з цим доцільно звернути увагу на таку характеристику системи, як надлишковість, під якою розуміють перевищення складності системи (структури, тісноти та кількості зв'язків і функцій) над її зовнішніми характеристиками, що є мінімально необхідними для виконання функцій (вирішення завдання, досягнення мети) в умовах певного середовища. Можна говорити про таку залежність: чим більше надлишковість системи, тим більша її стійкість та надійність.

Надлишковість системи може бути штучною або природною. Штучна надлишковість формується і вводиться до системи зовнішніми факторами для поліпшення основних властивостей (характеристик) системи, природна надлишковість еволюційно притаманна багатьом системам живої та неживої природи. Вона ускладнює систему, тому в багатьох випадках люди прагнуть її зменшити.

Таким чином, властивість цілісної системи виявляється в тісному взаємозв'язку між її елементами, у відмежованості від середовища та у взаємодії з ним, в її емерджентності.

5.3. Структурність та організованість

Будь-яка система, як цілісне утворення, певним чином впорядкована, організована. Тобто організація, організованість є притаманною для всіх систем ознакою. Головним змістовим вираженням організованості системи є її *структура* - внутрішня форма системи, що являє собою спосіб взаємозв'язку та взаємодії її елементів. Поняття структури системи досить близьке до поняття її форми, але вони не тотожні. Структура - це лише один аспект поняття форми, внутрішньої організації змісту. Крім цього форма виступає і як вираження змісту, і як характеристика зовнішнього виду об'єкта (зовнішня форма).

Структура є притаманною властивістю кожної системи. Але кожна конкретна система має свою специфічну структуру, складніша система має складнішу структуру. Специфіка структури системи залежить насамперед від природи її елементів. Саме структура інтегрує, зв'язує частини, надає їм певної спільності, цілісності, зумовлює появу нових системних якостей. Особливо велике значення для збереження системи, для забезпечення її функціонування має відносна самостійність, стійкість її структури. Без стійких зв'язків, взаємодії компонентів, тобто без структури, система перестала б існувати як дана конкретна цілісність. Будучи найбільш суттєвою характеристикою системи, структура «протистоїть» постійним (безладним) змінам елементів, утримує ці зміни в межах певної якості. Наявність структури - умова накопичення кількісних змін всередині системи, що є необхідною передумовою для її наступного розвитку та перетворення. Таким чином, структура - це внутрішня будова і спосіб взаємодії елементів системи як необхідна умова її існування.

Структуру системи можна характеризувати за такими загальними ознаками:

- кількість зв'язків та характер взаємодії елементів;
- інтенсивність зв'язків, частота (кількість зв'язків, що припадають на один елемент);
- кількість зовнішніх зв'язків, співвідношення між кількістю внутрішніх та зовнішніх зв'язків як характеристика відкритості системи.

Для вивчення структури застосовують графічне її зображення на основі теорії графів. Граф - графічна модель структури, що складається з вершин (точок) і ребер, які символізують елементи та їх зв'язки. Виділяють такі найпоширеніші типи структур (рис. 5.1):

- а) лінійна - послідовно односпрямовані зв'язки;
- б) кільцева - замкнена структура з двосторонніми зв'язками елементів;
- в) сотова - розгалужена структура з багатьма зв'язками;
- г) зіркова - впорядкована структура з центральним елементом;
- д) ієрархічна - підпорядкованість одних елементів іншим;
- е) змішана - поєднання різних типів структур в одній системі.

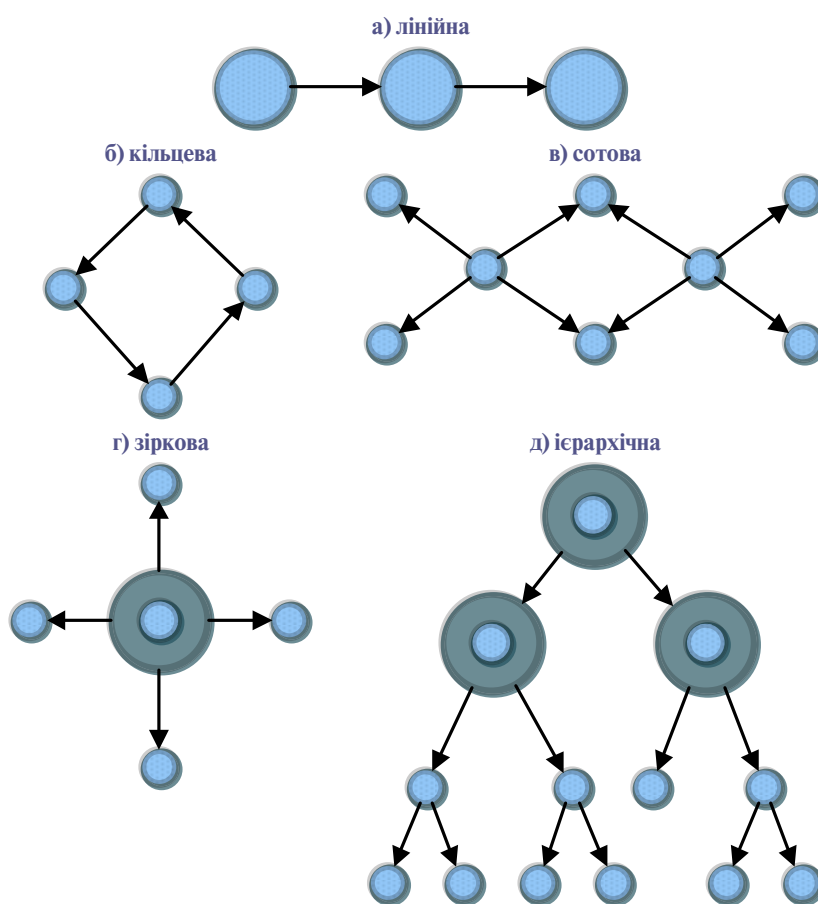
Притаманною ознакою структури є *організація системи*. Близькість цих понять є причиною того, що їх нерідко ототожнюють, хоча між ними є різниця. По-перше, організація відображує міру досконалості структури системи. Тобто організація - це ступінь ефективності, доцільності, раціональності, впорядкованості структури системи. Чим більше впорядкована структура системи, тим вища організованість її, тим вище рівень організації системи. Протилежним організованості є поняття *ентропії*, яке характеризує розбалансованість структури системи, її нерівноважність та нестійкість, її дезорганізацію.

По-друге, організація є процесом функціонування, розвитку системи в певному порядку, послідовності. Це власне процес вдосконалення в структурі системи.

Процесуальний аспект організації означає, що система та її структура знаходяться в безперервному процесі становлення та набуття нових якостей. Нові властивості знаходять вияв завдяки зміні зв'язків між елементами окремих структур та структурами різних рівнів. У загальному вигляді це означає зміну форми взаємодії між ними.

По-третє, організованість системи виявляється в *функціональному аспекті*. Кожна властивість системи потенційно є її функцією, але властивість набуває характеру функції лише в тому випадку, коли вона слугує збереженню системи та виконанню нею своєї головної функції. Оскільки система постійно розвивається, то її елементи безперервно набувають нових якостей, а значить, і функцій. Властивість елемента, набуваючи функціонального характеру, стає доцільною стосовно даної системи. В цьому розумінні організація - це така сукупність явищ, в якій властивості останніх виявляються як функції збереження і розвитку даної сукупності.

Важливою ознакою організованості системи є *координація* як певна узгодженість, підігнаність компонентів цілого один до одного. Тобто це такий стан їх взаємної залежності, який забезпечує динамічну рівновагу системи. У механічних системах така залежність має по суті однозначний характер: наслідок є прямо пропорційним причині, тобто зміна певного елемента внаслідок впливу на нього локалізується, не поширюючись на інші. В більш складних системах для координації характерна вже не пряма і однозначна залежність, а опосередкована і багатозначна координація елементів. Координація виявляється також в узгодженні функцій компонентів системи по горизонталі, тобто відносно однакових, «рівноправних» елементів.



Малюнок 5.1. Типи структур

Організованість системи виявляється також у такій її ознаці, як ієрархічність структури. Ієрархія - це взаємна підпорядкованість елементів системи, її окремих структур. Особливо чітко це виявляється в складних, достатньо високоорганізованих системах - біологічних, соціальних, інформаційно-управлінських. Ієрархічність виявляється як у підпорядкованості елементів, так і у підпорядкованості системи. Ієрархічність структури системи зумовлює явище субординації - підлеглість і підпорядкованість елементів, що вказує на особливе місце кожного з них та неоднакове значення їх в системі. Одні елементи відіграють важливу роль у функціонуванні системи, визначають діяльність інших частин та відносини між ними, інші відіграють меншу роль. Так, найважливішим компонентом соціальної системи є історично визначений спосіб виробництва, який утворює основу функціонування і розвитку суспільства. Субординація виявляється в узгодженні функцій по вертикалі, в підпорядкованості функцій одних елементів іншим та підпорядкуванні функцій всіх без винятку компонентів функції системи в цілому. Субординація функцій вказує, по-перше, на особливе, специфічне місце і неоднакове значення кожного компоне-

нта в здійсненні функції системи; по-друге, на те, що будь-яка система, інтегруючи функції своїх компонентів, сама виконує певну функціональну роль в іншій, більшій і складнішій системі, компонентом якої вона є.

Перелічені процеси організації системи, як вираження суті впорядкування її структури, відбуваються за об'єктивними законами або принципами організації системи, про які йтиме мова детальніше в розділі 6.

Таким чином, сутність організованості системи виявляється в наявності її структури як способу взаємодії елементів та у постійному вдосконаленні, впорядкуванні цієї структури.

5.4. Функціональність

Система може виникнути і зберегти своє існування лише за умови, коли властивості її елементів знаходяться у відповідності з умовами її збереження, тобто, коли частини відповідають цілому. Таке відношення частин до цілого виявляється як *функція системи*. Елементи знаходяться в стані взаємодії з системою лише в тому розумінні, що властивості будь-якого іншого елемента, з яким перший не взаємодіє, визначаються не лише його власним внутрішнім змістом, а й сумарним результатом впливу на нього всіх інших елементів даної системи. Звідси функцію, в системному її розумінні, можна визначити як таке відношення частин до цілого, при якому саме існування частини забезпечує існування цілого. По-іншому можна сказати, що *функція - це зовнішній вияв властивості і внутрішнього змісту елемента, що спрямовані на збереження та розвиток системи*.

Функції системи є інтегративним результатом активного вияву властивостей її елементів, тоді як функції елементів - багато в чому є результатом впливу на них загальносистемних функцій. В системі функції виявляються і як форми, способи прояву активності окремих елементів чи системи в цілому; і як форми поведінки, що сприяють, забезпечують збереження компонентів, зокрема, та системою в цілому; і як взаємозв'язок, що визначає порядок включення компонентів у систему. Часто функції відіграють роль основи або умови виникнення нових компонентів. У такому випадку компоненти виступають як матеріалізація функцій, як результат задоволення потреби системи в нових органах свого руху, розвитку.

Функціональна залежність виявляється:

- між окремими елементами даної системи;
- між елементом і системою в цілому;
- між системою в цілому та іншою, більшою системою, компонентом якої вона є.

При цьому одні компоненти функціонують одночасно, поряд один з одним; інші - послідовно, один за одним. Іншими словами, функції компонентів узгоджені в часі і просторі.

Важливою ознакою функцій елементів є їх *доцільний характер* по відношенню до системи, в протилежному випадку елемент випадає з системи, стає для неї «чужим» тілом. Важливою обставиною є те, що функції «прив'язані» до елементів і здійснюються в рамках властивих даній системі структурі й організації. Тому зміни в природі, внутрішньому змісті елементів, характері їх взаємодії (тобто в структурі) з необхідністю викликають відповідні зміни в функціях як самих компонентів, так і системи в цілому.

Через функції системи виявляються її *регуляція та саморегуляція*. Система буде здатною зберегти цілісність своєї структури і спрямованість свого руху лише за наявності в ній регуляційних процесів. Найбільш загальним виразом регуляційності системи є *принцип Ле-Шательє*: система лише тоді є системою, коли в її структурі в умовах впливу зовнішніх сил виникають процеси, спрямовані на протидію цим силам і на збереження існуючого стану системи. Ці процеси називаються регуляційними.

Саморегуляція - прагнення до такого стану узгодженості властивостей елементів, при якому б всі вони набували функціонального (доцільного) характеру стосовно головної функції системи, тобто були б зосереджені на виконанні цієї головної функції. Таке прагнення виявляється в адаптації - зміні характеристик елементів (чи системи в цілому) або способу функціонування, що спрямовані на підвищення її ефективності. Тому адаптація - це оптимальна саморегуляція системи. Функції, як невід'ємний атрибут структури системи, є важливою передумовою існування зв'язків у системі, вони відіграють важливу роль

в процесах координації та субординації елементів. Узгодженість і доцільність функцій великою мірою визначають організованість, впорядкованість структури системи. Велику роль функцій в системі формально підкреслює той факт, що принципи організації системи побудовані на основі функціональності (див. розділ 7).

У зв'язку з цим необхідно звернути увагу на категорію *функціональної системи*, що являє собою динамічну взаємодію організму із середовищем. Це поняття запровадив вітчизняний фізіолог П. К. Анохін у 1935 р., виділивши в структурі функціональної системи зворотну реакцію як елемент складної переробки інформації про середовище і організм, як елемент прогнозування. Концепція функціональної системи передувала багатьом ідеям кібернетики, що з'явилися пізніше. Структурна схема функціональної системи охоплює взаємодію пам'яті, мотивації, ситуаційної та пускової аферентації при формуванні акцептора мети і результату дії, блоки програмування і виконання дій, взаємодію зворотної аферентації з моделлю майбутнього результату в акцепторі, корекцію результату і програми дій.

Таким чином, властивість функціональності системи означає, що умовою існування системи і обов'язковим, притаманним їй атрибутом є наявність функцій - внутрішньосистемних, загальносистемних та зовнішніх.

Від сили сукупного впливу таких властивостей системи, як цілісність, організованість, функціональність, залежить стійкість (стабільність) системи, тобто здатність безвідмовно функціонувати, зберігати свою структуру та функції в умовах деструктивного впливу зовнішніх факторів. Стійкість системи характеризується, зокрема, такою категорією, як *гомеостазис* (незмінний стан) - підтримання постійності істотних параметрів (характеристик) системи для забезпечення оптимального режиму внутрішнього середовища. Безвідмовність системи, як характеристика її надійності (стійкості), - це здатність системи виконувати покладені на неї функції в потрібний момент часу при заданих умовах. В штучних системах безвідмовність забезпечується за рахунок правильної оцінки реальної ситуації та властивостей (можливостей) системи. Для кількісної оцінки надійності технічних систем використовують коефіцієнт надійності - ймовірність того, що система, яка знаходиться в стаціонарному режимі, в даний момент часу є справною і буде працювати не менше часу, що дорівнює тривалості виконання покладеної на неї функції.

5.5. Відмежованість: система і середовище

Надзвичайно важливим в загальній теорії систем є положення про взаємовідношення систем і середовища, про їх взаємний вплив, про роль середовища в житті системи. Принциповим є питання про саме розуміння сутності середовища як категорії теорії систем. Стосовно такого розуміння існує принаймні дві точки зору: а) середовище - це зовнішнє оточення системи, все те, що знаходиться (існує) поза системою; б) розрізняють внутрішнє середовище власне системи та зовнішнє середовище, що оточує систему.

Більш правомірною, очевидно, є перша точка зору, яка орієнтує на розуміння середовища як зовнішнього оточення системи, бо внутрішнє середовище має розглядатися як власне система (елементи і зв'язки). На важливість категорій «середовище-система» вказував Ніклас Луман, який підкреслював, що система починається там, де спостерігається відмежування від оточуючого середовища. Загалом середовище системи можна визначити як сукупність об'єктів, явищ, процесів, які не належать системі, знаходяться поза нею, та певним чином впливають на систему і відчують на собі вплив даної системи. З такого розуміння середовища відразу виникає питання: як визначити межу системи, тобто, своєрідну лінію, яка є «кордоном», системи? Потрібно зауважити, що для такого буквального розуміння відмежованості і межі в теорії систем підстав майже не існує (за винятком механічних закритих систем). Звичайно, існує чітка фізична межа для таких систем, як телевізор, комп'ютерна система, мобільний телефон. Але значно складнішим питанням є визначення межі складної, високоорганізованої, відкритої системи. В такому випадку відмежованість слід розглядати як ступінь автономності головних характеристик (ознак) системи. Адже очевидними є неспівпадання ступеня фізичної (матеріальної) та інформаційної відмежованості такої системи, як мобільний телефон: матеріальна відмежованість достатньо конкретизована, а інформаційна - досить невизначена.

Такі обставини свідчать про необхідність розглядати відмежованість системи від середовища в декількох аспектах: матеріально-речовинному, просторовому, структурному, функціональному. Матеріально-

речовинна відмежованість уявляється як фізична належність (неналежність) певного об'єкта (елемента) до системи, це може виражатися в механічній з'єднаності елемента з системою (наприклад, колесо як елемент автомобіля). Просторова (або топологічна) відмежованість визначається межами, поза якими даний об'єкт (елемент, система) не існує, це можуть бути територіальні межі держави, регіону. Структурна відмежованість є одним з найсуттєвіших виявів системи, вона визначається характером та інтенсивністю зв'язків між елементами системи, саме зв'язки показують належність чи неналежність певного об'єкта (елемента) до системи. Загальна залежність така: чим більша кількість та інтенсивність зв'язків елемента, тим він тісніше входить до системи і, відповідно, межа системи проходить там, де зв'язки відсутні або ж їх кількість та інтенсивність мінімальна (для відкритих систем).

Функціональну відмежованість системи можна визначити на основі характеру її функцій: внутрішньосистемних, загальносистемних та зовнішньосистемних. Межа системи в таких умовах визначається там, де закінчуються внутрішньо- та загальносистемні функції, це може бути і часова, і територіальна, і просторова, і енергетична, і інформаційна відмежованість. Цілком очевидною є та обставина, що перелічені аспекти відмежованості далеко не завжди співпадають, і чим складнішою, організованішою та відкритішою є система, тим більшим є таке неспівпадання. Це дає підстави для висновку про те, що більшість систем не має чіткої межі (границі), яка б однозначно відокремлювала їх від зовнішнього середовища. До цього ще варто додати, що межі системи не є постійними, вони можуть змінюватися (хоча і в несуттєвих для існування системи діапазонах) в залежності від функцій, станів, циклів розвитку системи. Тобто правильніше говорити не стільки про чітку межу (порядок) системи, а про певну перехідну (буферну) зону, що одночасно і відокремлює систему від середовища, і об'єднує її з середовищем.

З поняттям відмежованості нерозривно пов'язане питання відкритості системи. Вже з першого погляду напрашується висновок: чим менш відкритою є система, тим більше вона відмежована від середовища і навпаки. Але знову ж таки не можна абсолютизувати таку залежність хоча б з огляду на неспівпадання перелічених аспектів відмежованості. Наприклад, жорстко відмежована в матеріальному відношенні система (мобільний телефон) може мати досить нечіткі і непостійні межі своїх функцій (інформаційних, комунікаційних). При цьому потрібно мати на увазі, що відкритість системи переважно ідентифікується за функціональною ознакою, яка свідчить про те, що відкриті системи не мають жорстких меж, а їх елементи володіють відносною свободою.

Що ж являє собою зовнішнє середовище системи? По-перше, якщо виходити з наукових уявлень про системну влаштованість (організованість) світу, то середовищем будь-якої системи є інша, вища система. Кожна система при такому підході розглядається як підсистема більшої системи і саме ця «більша» система і буде виконувати роль середовища для «меншої» системи. При цьому слід мати на увазі, що до «більшої» системи належать декілька «менших» систем, які також виступають як середовище існування кожної з них. При такому підході взаємодія системи з середовищем фактично ототожнюється із взаємодією системи нижчого порядку з системою вищого порядку або ж із взаємодією між однопорядковими системами. В таких випадках говорять про організоване середовище системи. Але далеко не завжди система знаходиться в жорсткій прив'язці до вищої системи.

По-друге, треба враховувати ту обставину, що системна організованість світу, яка існує в уяві людини, вченого (гносеологічний аспект), в реальності не має такої чіткої системної структурованості та ієрархії. Тому варто розглядати середовище конкретної системи також як неорганізовану або недостатньо організовану сукупність об'єктів, явищ, процесів, які безпосередньо оточують систему та впливають на неї. Класичним прикладом тут може бути середовище існування живих організмів, індивідів або їх співтовариств: зграя риб в озері, тигр в тайзі, людина в природному середовищі.

Взаємодію системи з середовищем можна охарактеризувати такими положеннями:

1. Середовище постійно впливає на систему, яка пов'язана з ним багатоманітними обмінними процесами.
2. Необхідною умовою життєдіяльності системи є наявність середовища, з якого система отримує речовину, енергію, інформацію. Особливо важливу роль відіграє середовище для відкритих систем.
3. Вплив середовища на систему неоднозначний: активний або пасивний, сприятливий або несприятливий.

4. Середовище може бути неорганізованим (стохастичним), організованим (системно впорядкованим) або мати змішаний характер.
5. Система впливає на середовище через свої зовнішні функції, які задаються метою її розвитку (існування).
6. Система використовує середовище як джерело існування та як утилізатор продуктів своєї життєдіяльності.
7. В процесі взаємодії системи з середовищем змінюються межі системи.

У складному процесі взаємодії системи з середовищем відбувається адаптація системи, тобто пристосування її до умов середовища. Таю пристосування відбувається під кутом зору мети (інтересів) системи виявляється в змістовно-структурних та функціональних змінах системи. Завжди потрібно мати на увазі і зворотній зв'язок: система активно впливає на середовище і певним чином змінює його властивості.

Адаптація є достатньо складним процесом, для глибокого її розуміння застосовують класифікацію [19, с. 153]:

- за характером: природна (еволюційна) або штучна (цілеспрямована);
- за метою: самозбереження, пристосування, перетворення середовища;
- за напрямом: прогресивна, консервативна, регресивна;
- за змінами в системі: функціональна, структурна, організаційна.

Зазвичай адаптаційні процеси відбуваються до певної межі, тобто вони сприяють існуванню системи у тому випадку, коли зберігається певна *рівновага системи і середовища*. Рівновага виявляється у здатності системи повертатися до свого первісного стану, компенсуючи вплив середовища. Ця зовнішня рівноважність системи потребує внутрішньосистемної рівноважності, внутрішньої збалансованості системи. Зовнішня рівноважність системи значною мірою обумовлюється стійкістю системи. Важливими умовами стійкості системи є її *інерційність* - здатність зберігати певну траєкторію руху, переборюючи збурюючий вплив факторів середовища.

У тих випадках, коли зовнішня рівноважність системи порушується, вона вступає в суперечність із середовищем. Така суперечність виникає при умовах: а) агресивне середовище - неагресивна система; б) агресивна система - неагресивне середовище; в) агресивна системи - агресивне середовище. Вирішення означених суперечностей може відбуватися шляхом знищення системи, її асиміляції (розчинення), підкорення системою середовища, якісної зміни властивостей середовища або його включення до складу системи.

Одним з різновидів взаємодії системи і середовища є *конвергенція* (зближення систем), яка здебільшого спостерігається в умовах організованого середовища. Умови, за яких може відбуватися конвергенція:

- спільне середовище існування двох систем;
- відсутність суперечностей, протилежностей між системами;
- спільність і несуперечність цілей розвитку систем;
- змістовна однорідність систем.

Запитання для самоконтролю

1. Які відмінності сумативних і цілісних систем?
2. Які ознаки (вияви) цілісності системи ?
3. Як співвідносяться поняття цілісності та відмежованості системи?
4. За якими ознаками оцінюється структура системи ?
5. Як співвідносяться поняття «впорядкованість» та «організація системи» ?
6. Який зв'язок між поняттями «ієрархія» та «субординація» ?
7. Які ознаки «Функціональності» елемента ?
8. Як співвідносяться поняття функціональності та організованості системи ?

Розділ 6. СКЛАДНІ СИСТЕМИ

6.1. Поняття простої і складної системи

Проблема визначення та розмежування простих і складних систем є однією з найменш досліджених та висвітлених в теорії систем. Більшість систем як об'єктів дослідження вважаються складними, виходячи хоча б з такої логіки: прості системи зрозумілі, очевидні і особливої глибини дослідження не потребують. Однак загальновизнаного наукового визначення складної системи, яке б відображало суттєві її ознаки, поки ще не існує. При визначенні складної системи потрібно враховувати два аспекти: об'єктивно-онтологічний та суб'єктивно-гносеологічний. Об'єктивна складність системи визначається її реальним станом, тобто якою є система в дійсності незалежно від того, хто і з якою метою її вивчає. В такому розумінні майже всі об'єкти будуть складними: наприклад, учнівський зошит - це проста (навіть сумативна) механічна система, але з точки зору хімічного складу вона буде складною, бо складається з великої кількості молекул; далі, кожна молекула, як відносно автономна система, буде ще більш складною. Виходить, що проста система утворена багатьма складними системами. Гносеологічний аспект, який базується на положеннях системного підходу, дає більш чіткі критерії: в залежності від мети вивчення одну й ту ж систему можна розглядати або як просту, або як складну. При цьому потрібно пам'ятати, що системний аналіз власне і зорієнтований на гносеологічне «спрощення» системи шляхом умовного розчленування, дезагрегації, декомпозиції з метою ефективнішого її пізнання.

Суб'єктивна складність чи простота системи буде «залежати» і від суб'єкта пізнання принаймні з двох причин. Перша - рівень інформаційного забезпечення суб'єкта (повнота та детальність його знань про конкретну систему), компетентність та професійність дослідника.

Наприклад, автомобіль з точки зору автомеханіка може розглядатися як відносна проста детермінована система, в той же час з точки зору автолюбителя і початківця автомобіль - це надскладна система. Друга причина полягає в тому, яку мету ставить суб'єкт стосовно конкретної системи, що, безумовно, також пов'язано з першою причиною. Наприклад, комп'ютер з точки зору пересічного користувача буде розглядатися як відносна проста технічна система, з точки зору програміста - як складна система, з точки зору його проектувальника - як надскладна система.

Існує багато визначень складної системи, які, однак, переважно акцентують увагу на кількості елементів та способах їх взаємозв'язку (організації, структурі), що визначають характер поведінки системи. Так, при «кількісному» підході до визначення складності вона залежить від кількості елементів, що складають систему. В даному випадку, на думку Г. М. Пивоварова, системи поділяють на: малі (до 10^3 елементів), складні ($10^4 - 10^7$), ультраскладні ($10^7 - 10^{30}$) та суперсистеми (понад 10^{30}). «Процесуальний» підхід - складною є така система, в якій відбувається одночасно декілька процесів.

Складність, таким чином, може бути: структурною, функціональною, динамічною, описовою (пізнавальною, гносеологічною).

Враховуючи такі попередні зауваження, потрібно визнати, що проблема чіткого та однозначного категоріального визначення складної системи є досить складною та потребує конкретизації в залежності від об'єктивної природи системи та мети і законів її пізнання. Узагальнюючи різноманітні погляди стосовно поняття складності системи, Ю. П. Сурмін виділяє чотири підходи до розуміння складності [19].

По-перше, складні системи - це системи недостатньо організовані або не організовані. До них належать дифузні, тобто з великою кількістю процесів (елементів), між якими неможливо встановити «перегородки», які б розмежували компоненти. В таких системах постійно відбуваються дифузні процеси, тобто поступове взаємопроникнення, змістовне «перекриття» одних елементів (процесів) іншими. Це також стосується і тих систем відкритого типу, які тісно взаємопов'язані із зовнішнім середовищем і не мають чітко визначеної межі, що відокремлює їх від 1 середовища. В силу таких обставин ці системи характеризуються невизначеністю, стохастичністю та слабкою детермінованістю.

По-друге, під складними системами розуміють такі, які не можуть бути точно математично описані. На перший погляд це суто гносеологічний підхід, але він має об'єктивне (онтологічне) підґрунтя, оскільки логічному математичному виразу найважче піддаються саме об'єктивно складні (стохастичні, ієрархічні, недетерміновані) системи. Потрібно також зауважити, що для повного математичного опису (моделювання) такого роду систем поки, що не існує адекватного математичного інструментарію (теорії, 21 метод, методики).

По-третє, складними системами вважаються системи, для яких притаманна цілеспрямованість поведінки, тобто переважно соціальні системи. З одного боку, такі системи є досить високоорганізованими, з іншого - недостатньо визначеними та стохастичними. В цій подвійності і є одна з причин їх складності.

По-четверте, складність системи трактується з позиції теорії множин, тобто складність у даному випадку ототожнюється з поняттям «багато»: багато елементів, багато зв'язків, багато рівнів, багато функцій тощо.

Загалом є достатні підстави розглядати категорію складності в декількох аспектах:

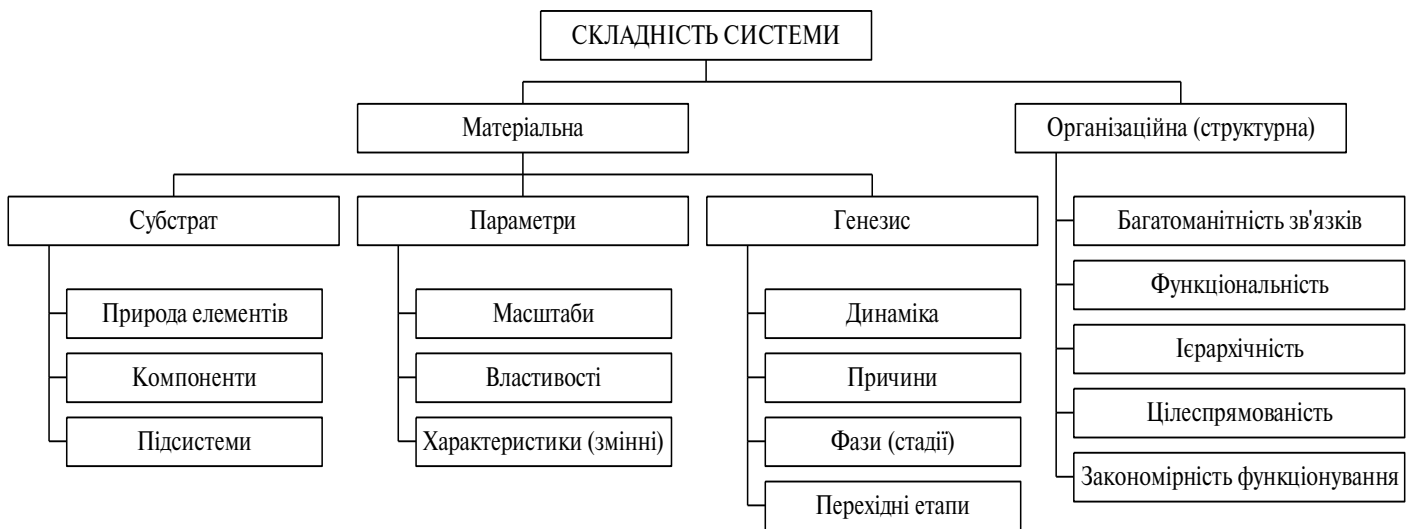
- складність, як велика кількість елементів, що утворюють систему;
- складність, як велика кількість і різноманітність зв'язків між елементами системи;
- складність, як ієрархія системи, тобто наявність підпорядкованих підсистем;
- складність, як функціональність системи, тобто наявність великої кількості та ієрархії функцій;
- складність, як поведінка системи: детермінованість, стохастичність;
- складність, як взаємодія системи із зовнішнім середовищем;
- складність, як цілеспрямованість системи, що зазвичай передбачає наявність управління в системі (самоорганізація, координація).

При цьому потрібно акцентувати на такій ознаці складних систем, як наявність в їх складі різноякісних за своєю змістовною природою підсистем (елементів), тобто в таких системах можуть одночасно взаємодіяти елементи біологічні і соціальні, природні і штучно створені. Донедавна ставився під сумнів сам принцип існування таких, «різноякісних» систем. Але поглиблене наукове пізнання системної організації світу довело об'єктивність (онтологічність) існування таких систем. Для прикладу можна назвати соціально-екологічні системи, природно-господарські системи, регіональні суспільно-географічні системи, географічну оболонку Землі, ноосферу. Дослідження таких «різноякісних» систем та спроби їх моделювання, зокрема формалізовано-математичного, показали, що ці системи є найбільш складними як в онтологічному, так і в гносеологічному розумінні. Тому системний підхід до вивчення таких складних об'єктів і відіграє в сучасній науці провідну роль. Це, зокрема, стосується таких наук, як екологія, географія, економіка, соціологія, політологія.

Таким чином, складність у системному розумінні доцільно уявляти, по-перше, як складність матеріальну та складність організаційну; по-друге, матеріальна і організаційна складність, в свою чергу, ідентифікуються за більш деталізованими критеріями (рис. 6.1).

Таке трактування складності може свідчити на користь одного з наведених нижче висновків:

- складною є система, яка володіє всіма матеріальними та організаційними проявами складності;
- складною є система, яка володіє принаймні однією з ознак складності (наприклад генезисом);
- складною є система, яка має декілька ознак складності матеріального та організаційного характеру.



Малюнок 6.1. Системне уявлення складності

6.2. Ознаки та критерії складності

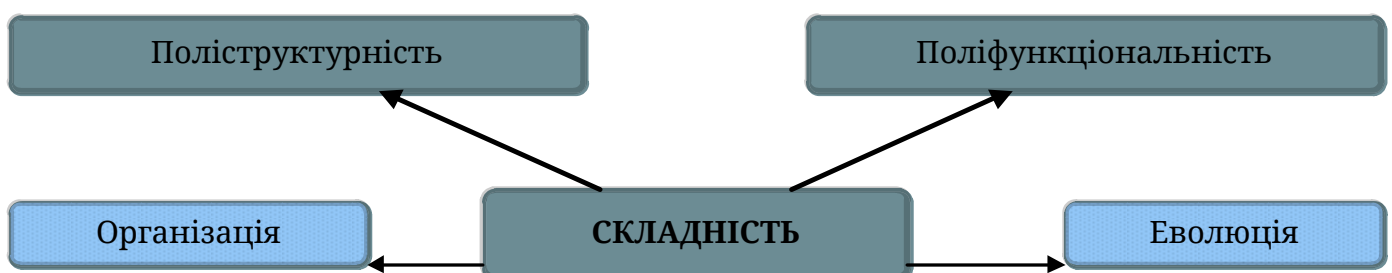
Аналіз та узагальнення визначень складності системи вказує головні їх об'єктивні і суб'єктивні ознаки. Науково коректний підхід вимагає оцінювати складність системи, перш за все, за об'єктивною змістовною (онтологічною) її сутністю. Оскільки складність системи виявляється через її склад, структуру, функції, організацію та еволюцію (генезис), то в основу ознак складності системи доцільно покласти саме ці характеристики (рис. 6.2.)

Складність системи виявляється, насамперед, в кількості елементів та способів їх взаємозв'язку (взаємодії), тобто система вважається складною за умови великої кількості елементів (поліелементність) та складності структури, що виявляється не лише у великій кількості та багатоманітності зв'язків між елементами, а й у наявності різних типів структури (поліструктурність). Таку характеристику системи означимо як поліструктурність - наявність багатьох елементів, які в результаті взаємодії утворюють складну (різномісну, багатопланову) структуру.

Наступною ознакою складної системи доцільно вважати полі-функціональність - наявність багатьох функцій, які перебувають між собою в певній залежності та підпорядкованості. Це означає, що складна система, по-перше, має функції внутрішньосистемні та зовнішньосистемні; по-друге, всі функції даної системи взаємозалежні та підпорядковані, зазвичай, виконанню головної функції (мети) системи.

Для складних систем властива певна організація - це процес і результат впорядкування системи для досягнення мети її розвитку. Організація системи виявляється в структурному (впорядкування структури), функціональному та процесуально-часовому відношеннях. Тобто, складна система, по-перше, має складну впорядкованість (підпорядкованість, ієрархію); по-друге, відзначається складними процесами, що відбуваються в системі з метою її впорядкування.

До ознак складної системи відносять також характер їх еволюції, тобто складність виникнення (утворення) та життєвого шляху. Ця ознака включає такі характеристики системи, як зовнішня поведінка (динаміка), внутрішня динаміка, характер та механізм внутрішньої та зовнішньої рівноважності системи, наявність етапів та точок біфуркації в розвитку системи.



Малюнок 6.2. Ознаки складної системи

Потрібно зауважити про наявність взаємозалежності між цими головними ознаками складних систем, яка полягає в тому, що одна ознака зумовлює іншу, а абстрактне існування певних ознак неможливе без наявності деяких «обов'язкових». Так, наприклад, поліфункціональність системи зазвичай є неможливою без поліструктурності, а організація є похідною від поліструктурності та поліфункціональності.

Виходячи з таких загальних ознак складної системи, можна сформулювати принципи (правила) її ідентифікації, які і складають основу критеріїв визначення складної системи. До таких принципів належать наступні:

- Чим більший кількісний та різноманітніший елементний склад системи, тим вона складніша.
- Складність структури системи виявляється у великій кількості та різноманітності зв'язків і способів взаємодії між її елементами.
- Складна система, як правило, є багаторівневою та багат шаровою.
- Складна система відзначається процесами організації (координація, субординація, адаптація саморегулювання).
- Складна система відзначається складністю функцій, їх узгодженістю та суперечністю.
- Для складної системи властива циклічність (етапність) розвитку.

6.3. Проблеми класифікації складних систем

Головна проблема класифікації складних систем полягає в тому, що, по-перше, ознаки таких систем зазвичай важко піддаються кількісному (формалізованому) вираженню; по-друге, суб'єктивне розуміння складності приводить до неможливості чіткого розмежування простих і складних систем. Ці обставини, в свою чергу, зумовлюють включення «простих» систем до категорії складних, що може перетворити класифікацію складних систем в класифікацію систем «взагалі».

У реальному житті досить непросто визначити, чи є певна система об'єктивно складною, чи вона нам уявляється такою через те, що ми не володіємо інформацією про неї або не знаємо її властивостей, що вже визначені іншими галузями науки. При співставленні суб'єктивних і об'єктивних критеріїв складності досить часто виникають суперечливі ситуації, які зводяться до наступних типів оцінок [19, с. 92]:

- «об'єктивна складність - об'єктивна простота»: абсурдна оцінка, що не має сенсу, породжена нерозумінням суті системи і системності взагалі;
- «суб'єктивна складність - об'єктивна простота»: недостатньо пізнана об'єктивно проста система, яка в даному випадку не має інтерпретації;
- «об'єктивна простота - об'єктивна складність»: нерозуміння системи;
- «суб'єктивна простота - об'єктивна складність»: спрощене сприйняття об'єктивно складної системи;
- «суб'єктивна складність - суб'єктивна простота»: сприйняття об'єктивно простої системи в якості складної;
- «суб'єктивна простота - суб'єктивна складність»: нерозуміння системи.

Узагальнення суб'єктивного (гносеологічного) та об'єктивного (онтологічного) аспектів складності дає підстави для виділення принаймні трьох типів складних систем:

- а) об'єктивно прості, але суб'єктивно складні системи - це системи, складність яких або не усвідомлювалась раніше, або навіть їх об'єктивна простота є непідвладною для пізнання конкретного суб'єкта;
- б) об'єктивно складні, але суб'єктивно прості системи - фактично складні системи, які спрощено сприймаються в процесі пізнання; наприклад, так спрощено сприймалися онтологічно складні річкові системи в процесі проектування та будівництва гідроелектростанцій;
- в) об'єктивно складні і суб'єктивно складні системи - це найбільш адекватне розуміння складної системи, коли її об'єктивна складність належним чином сприймається та відображається дослідником (суб'єктом).

Досить поширеною є укрупнена класифікація складних систем, в основу якої покладена ознака можливості їх математичного (формалізованого) опису на основі залежності характеристик змінних. Виділяють чотири класи систем: відносно прості, складні, дуже складні, надскладні.

Відносно прості - це системи з відсутністю суттєвих зв'язків (залежностей) між їх характеристиками. Такі системи можна аналізувати шляхом послідовного вивчення незалежних одна від одної характеристик (змінних), що складають зміст опису при будь-яких масштабах об'єкта.

Складні - системи, в описі яких просліджуються певні зв'язки між змінними. Для аналізу таких систем можуть бути використані прості моделі апроксимації функцій взаємозв'язку, моделі парних регресій, нескладні експертні методи оцінки взаємозалежностей між змінними.

Дуже складні - системи, для адекватного опису яких необхідно врахувати взаємозв'язки і залежність декількох змінних (характеристик) - трьох і більше. При вивченні таких систем застосовують методи множинного кореляційно-регресійного аналізу.

Надскладні - системи, для опису яких необхідно враховувати взаємозв'язки між багатьма змінними, інструментами аналізу виступають факторний, дисперсний аналіз.

Запитання для самоконтролю

- 1. У чому сутність об'єктивної та суб'єктивної складності системи ?*
- 2. Які причини суб'єктивної складності системи ?*
- 3. В яких аспектах виявляється складність системи ?*
- 4. Які підходи існують до розуміння складної системи ?*
- 5. Які ознаки «різномірної» системи ?*
- 6. Назвіть головні ознаки складної системи.*
- 7. Які головні принципи ідентифікації складних систем ?*
- 8. У чому полягають суперечності класифікації складних систем ?*

Розділ 7. ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

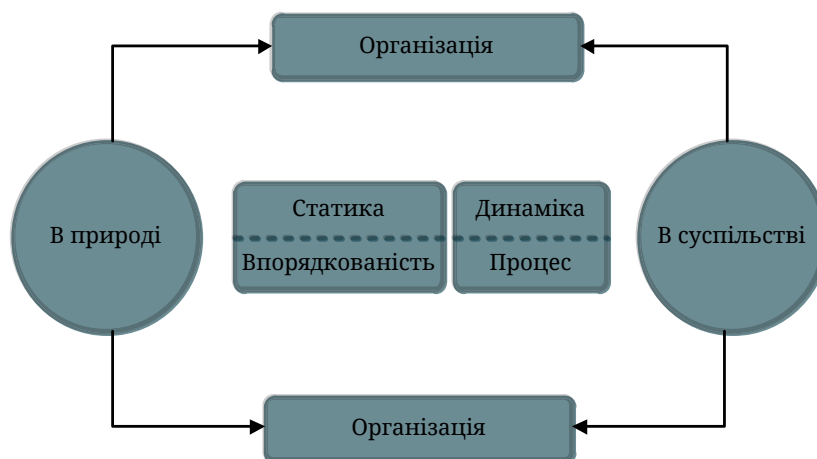
7.1. Сутність організації системи

Засади теорії організації як універсальної науки були сформульовані А. Богдановим у роботі «Тектологія (Загальна організаційна наука)» в 1913 р., в якій теорія організації розглядалась як наука, що узагальнює теоретичні знання різноманітних наук, зокрема фізики, біології, хімії, соціології. Положення цієї теорії знайшли подальший розвиток в роботах вчених, що працювали у різних сферах науки: Л. фон Берталанфі (біолог), У. Рос Ешбі та Н. Вінер (математики), Р.Л. Акофф (економіст). Результатом таких робіт стало виявлення та формулювання загальних законів, що діють в системах будь-якої природи. Дослідження в цій галузі привели до обґрунтування загальної теорії систем та кібернетики, що свідчить про тісний змістовний зв'язок зазначених наукових напрямків.

Теорія організації змістовно невіддільна від загальної теорії систем, бо саме поняття організації не можна уявити поза системою. Теорія систем вивчає закони і принципи, що виявляються в системах загалом, насамперед їх цілісність та взаємозв'язаність. Кібернетика досліджує функціонування особливого виду об'єктів — кібернетичних систем, спостереження за якими дає відомості для узагальнення процесів організації. В основі теорії організації знаходяться три головні сфери наукового знання: математичні, природничі та суспільні (рис. 7.1) [4, с. 364]. Саме цим визначається зв'язок теорії організації з іншими галузями науки.

Сутність поняття «організація» доцільно визначати на основі трьох підходів: по-перше, організація — це внутрішня впорядкованість, узгодженість, взаємодія відносно автономних частин цілого; по-друге, організація — це сукупність процесів, спрямованих на утворення і вдосконалення взаємозв'язків між частинами цілого; по-третє, організація — це об'єкт, система, утворення, що має певну структуру та функції. Тому сам термін «організація» змістовно може уявлятися як стан, як процес, як об'єкт.

Загалом же організація — це впорядкований стан елементів цілого та процес з їх упорядкування в доцільну єдність.



Малюнок 7.1. Схема уявлення терміна «організація» (за В. Волковою)

Таке визначення дає підстави розглядати поняття організації в статичній та динамічній. У статичному аспекті організація — це певне цілісне утворення (соціальне, технічне, біологічне), що має певне призначення та функції. В динамічному аспекті організація — це різноманітні процеси упорядкування елементів, формування та підтримання цілісності заново створених та вже існуючих об'єктів. Ці процеси можуть мати вид цілеспрямованої дії людей (функція управління) або природних процесів (самоорганізація).

Впорядкування, як головний зміст організації, може здійснюватися в просторовому, часовому, структурному, цільовому та функціональному відношеннях (вимірах).

Просторовий аспект організації характеризується просторовими розмірами (величиною), просторовим положенням, просторовими зв'язками та конкуренцією. Важливе значення цей аспект набуває для систем територіального характеру (див. розділ 10), від територіальної організації яких значною мірою залежить ефективність їх функціонування в цілому.

Часовий аспект організації — це, насамперед, впорядкованість системи в часі, часова узгодженість елементів. Цей аспект характеризується такими ознаками, як тривалість, послідовність, ритмічність, часова приуроченість, швидкість руху.

Структурний аспект організації означає впорядкування та впорядкованість структури системи. З позицій сучасного наукового розуміння впорядкування структури називають оптимізацією структури.

Цільова організації системи передбачає впорядкування та узгодження цілей розвитку системи з точки зору ієрархії, координації та субординації.

Функціональний аспект організації полягає в упорядкуванні та узгодженні функцій системи (елементів, підсистем, зовнішніх функцій).

7.2. Закони і принципи організації

Закономірності функціонування і розвитку систем дозволили сформулювати закони їх організації, до яких належать: закон синергії, самозбереження, онтогенезу, композиції і пропорційності. На основі пізнання цих законів сформульовані відповідні принципи (правила) організації.

Закон синергії полягає в тому, що в системі за рахунок її внутрішнього потенціалу відбувається або суттєве посилення, або суттєве послаблення певної її властивості, функції, ефекту. Це відбувається через те, що в результаті певного набору і певного поєднання елементів (тобто певного їх впорядкування) виникає ситуація, коли їх сумарний, цілісний потенціал завжди буде або суттєво меншим (взаємна нейтралізація). Такі ефекти суттєвого підсилення або суттєвого послаблення виникають за рахунок певної (сприятливої або несприятливої, позитивної або негативної) впорядкованості системи.

Закон самозбереження полягає в тому, що будь-яка система прагне зберегти саму як цілісність, економно використовуючи свій ресурс. Прагнення системи до самозбереження, до самовдосконалення складає вищі, достеменно непізнанні мету, процес і результат існування будь-якої складної системи. Одним з найдосконаліших механізмів самозбереження системи є рівновага системи: внутрішня (збалансованість елементів) та зовнішня (збалансованість системи і середовища). Розрізняють статичну та динамічну рівновагу системи. Здатність системи повертатися до рівноважного стану прямо пов'язана з її стійкістю, тобто здатністю протистояти зовнішньому деструктивному впливу та зберігати свою структуру і функції в умовах зміни зовнішнього середовища.

Закон онтогенезу (розвитку). Онтогенез — це індивідуальний розвиток системи (організму), сукупність перетворень, що відбуваються з нею від народження до кінця існування. Суть закону: кожна матеріальна система прагне досягти найбільшого сумарного потенціалу на кожному з етапів свого розвитку.

Закон онтогенезу реалізується через декілька принципів: інерції, еластичності, безперервності та стабілізації. Принцип інерції полягає в тому, що зміна потенціалу системи відбувається не відразу, а через деякий час після впливу (змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі) та триває ще впродовж деякого часу після закінчення впливу. Принцип еластичності — швидкість зміни потенціалу системи залежить від величини і структури самого потенціалу. В залежності від цього система може бути або більш або менш чутливою та рухливою стосовно змін середовища. Принцип неперервності — процес зміни потенціалу відбувається безперервно, змінюються лише швидкість і напрям змін. Принцип стабілізації — система прагне до стабілізації діапазону змін і потенціалу. Це означає, що система «погоджується» на зміни і коливання в певному діапазоні, але вона «не допускає» виходу за межі певного, прийняттого для неї, діапазону.

Закон композиції і пропорційності: необхідність узгодження цілей організації — вони мають бути спрямовані на підтримку головної цілі більш загального характеру (закон композиції). При цьому також існує необхідність певного співвідношення частин цілого та її співмірності, відповідності і залежності (закон

пропорційності). Дія цього закону поширюється на системи, які можна назвати цілеспрямованими. В цілеспрямованих системах існують проблеми визначення: генеральної мети (місії), загальних цілей, узгодженості багатьох цілей. Ці закони реалізуються на основі принципів планування, координації і повноти. Принцип планування: кожна система (організація) повинна мати обґрунтований план діяльності і розвитку. Принцип координації: кожна система повинна відслідкувати стратегічні, оперативні та поточні зміни і вносити відповідні корективи в свою діяльність. Принцип повноти: кожна система повинна виконувати весь (повний) набір функцій або самостійно, або залучати сторонні резерви.

7.3. Принципи функціональної організації систем

При виявленні сутності організації системи доцільно застосувати функціональний підхід, значущість якого визначається тим, що функціональність є найбільш істотним виявом будь-якої організації. Тому розкриття законів функціонування і функціональних зв'язків системи і буде розкриттям суті її організації. Як стверджує М.І. Серов (1972), «...побувати теорію організації (або змістовну теорію систем) можливо лише на основі функціонального методу...».

Кожна властивість потенційно є функцією. Але властивість набуває функціонального характеру лише в тому випадкові, коли вона починає слугувати збереженню даної системи і виконанню її головної функції. Оскільки організація — це система, що розвивається, то її елементи і структури безперервно набувають нових властивостей, а значить, і функцій. Властивість елемента, набуваючи функціонального характеру, стає доцільною відносно даної системи. Такий доцільний, спрямований характер властивості (функціональність) виникає, наприклад, в розвитку біологічних систем (популяція — вид) у більшій чи меншій мірі випадково, але будучи «закріпленим» природним відбором, стає неодмінною умовою даної системи.

Функцію, в системному її розумінні, можна визначити як таке відношення частин (елемента) до цілого (системи), при якому саме існування (або якийсь вид вияву) частини забезпечує існування цілого. Це визначення по суті співпадає з визначенням функції в математиці як залежності однієї змінної від іншої, але дещо змістовніше. Математику цікавить лише сама по собі залежність, її кількісний аспект. А в системному розумінні функції відображається і якісний бік залежності — її здатність сприяти збереженню системи.

Таким чином, в становленні організації і її збереженні потрібно визначити наступні важливі обставини: *виникнення нових властивостей*, потенційно здатних стати функцією відносно цілого, *та актуалізація функцій*, як процес набуття властивостями елементів функціонального характеру. Звичайно, ці процеси можуть відбуватися одночасно: виникаючи, нова властивість разом з тим стає певною мірою функціональною. Але реалізація функціональності властивостей залежить і від певних зовнішніх умов (наприклад, забарвлення тварини набуває захисної функції лише при наявності відповідного фону).

За висновком М.І. Сетрова (1972) сутність організації систем розкривається через такі основні принципи (як методологічна основа загальної теорії систем): сумісності елементів, актуалізації (нейтралізації), зосередження, лабілізації функцій.

7.3.1. Принцип сумісності елементів

Умовою взаємодії між об'єктами (тобто умовою утворення системи) є наявність у них властивості сумісності. Поняття про сумісність двох елементів виникає тоді, коли між ними є відмінність. У цьому випадкові виявлення сумісності зводиться до виявлення їх спільності за певними властивостями, параметрами або за змістом. Два порівняних об'єкти можуть відрізнитися або за дією в них законів різного рівня, тобто рівня розвитку, або за законами одного рівня, відмінності яких визначаються лише різними умовами розвитку цих об'єктів.

Для того, щоб система була організованою, необхідна наявність одночасно двох видів сумісності: сумісність одно порядкових елементів, як необхідна умова взаємодії; сумісність окремо взятого елемента з усіма іншими елементами цілого, тобто сумісність елемента з системою, до якої він входить.

Ступінь сумісності для різних систем неоднаковий. Одна справа несумісність між атомом і, скажемо, суспільством. Інша — несумісність між біологічними видами або між расами. В першому випадку між

двома системами взагалі неможлива будь-яка взаємодія, бо вони відносяться до цілком різних (різноманітних) видів руху матерії. В другому випадку несумісність виявляється лише в одному — просторове взаємовиключення одне одного, неможливість існувати на одній території, хоча в інших відношеннях (наприклад, в плані генетичної відповідності, спільності походження) ці системи і сумісними.

Сумісність є така *спільність* об'єктів, у певних властивостях або змістовно, яка забезпечує можливість їх взаємодії. Це визначення одночасно висвітлює і сутність принципу сумісності. Значущість цього принципу безсумнівна: адже неможливо створити потрібний предмет, якщо завчасно не визначена сумісність, тобто можливість з'єднання майбутніх його частин. Система може виникнути і зберегтися тільки тоді, коли властивості її елементів відповідають умовам її збереження, тобто частини відповідають цілому (інакше немає ні частин, ні цілого). В цьому і є суть сумісності.

Важливою ознакою сумісності є *відповідність* елементів системи один одному та всієї системи в цілому — середовищу існування. В одному випадку — це відповідність живого організму середовищу, в якому він існує, в іншому — функціональна відповідність між елементом (як частиною) та системою (як цілим). Виникає також питання про *доцільність*, як вияв сумісності взагалі та відповідності зокрема. Системне пояснення, що будується на ідеї рівня та ієрархії систем, пояснює співвідношення цих понять наступним чином. Наприклад, біосфера, в якій існує будь-який вид організмів і частиною якої він є, уявляється як певним чином організована система, що розвивається за своїми законами. Основна функція організму, як елемента системи більш високого порядку, є підтримання, збереження або зміна виду. Тим, в якій мірі організм виконує цю функцію, визначається і ступінь (міра) його доцільності, тобто, якою мірою він відповідає призначенню. Звичайно, призначення в даному випадку треба розуміти не суб'єктивно, не антропоморфно — як певну вказівку, а як певну об'єктивну залежність цілого від поведінки частини, виду — від його елементів (індивідів). Відносно самого організму його доцільність, як відповідність виконанню функції підтримання свого виду, є зовнішньою. Для виду, як системи, доцільність функцій індивідів є внутрішньою. В свою чергу, для окремих органів організму «середовищем» є організм як ціле, і їх функціональне відношення до організму є внутрішньою доцільністю. Тому поділ доцільності на внутрішню і зовнішню повинен бути «адресним» - стосовно конкретної системи.

Таким чином, доцільність — це така форма сумісності елементів системи (кожного окремо і всіх в цілому), при якій взаємодія між ними слугує збереженню даної системи, тобто властивості елементів, що виявляються в процесі такої взаємодії, є функціональними. Відповідно, доцільність це не є сумісність взагалі, а це сумісність особлива, при якій взаємодія елементів об'єктивно веде до збереження і зміцнення системи. Бо може існувати певна сумісність елементів, що буде сприяти їх взаємодії, але сама взаємодія при цьому приведе до розпаду системи і навіть її елементів. Така сумісність не буде доцільною. Це означає, що *доцільність*, як відповідність елементів по відношенню до системи та як відповідність системи в цілому по відношенню до зовнішнього середовища, є *необхідною умовою існування будь-якої організації, порядку*.

7.3.2. Принцип актуалізації функцій

Достатньо очевидно є та обставина, що процес становлення властивості і процес набуття цієї властивістю ознак функціонального характеру — це два різних явища. До того ж, для збільшення міри організованості системи важливішим є процес вияву властивістю своєї функціональності, тобто процес актуалізації функцій. Тому підхід до організації, як до безперервного процесу становлення функцій елементів систем, називають принципом актуалізації функцій.

Поняття актуалізації відображає процесуальний характер організації, поняття функції, визначаючи певне відношення частин до цілого, елемента до системи, відображає спрямованість і стійкість цього процесу (збереження системи і її функції). Сам по собі принцип актуалізації функцій не є критерієм організованості, він лише відображає найважливіший бік організації — набуття властивостями елементів функціонального (доцільного) характеру по відношенню до системи, у яку вони входять, що і є основою її збереження і розвитку. Але ступінь функціональності всіх властивостей елементів може відображати ступінь організованості системи і бути її критерієм. Чим більше властивостей елементів виявляється як їх функція, тим більше організованою є виявляються як функції збереження і розвитку цієї сукупності.

Таким чином, принцип актуалізації функцій полягає в об'єктивно необхідному переважаючому (активно) розвитку саме таких властивостей елементів, які «працюють» на збереження життєдіяльності системи на досягнення мети її розвитку, існування.

7.3.3. Принцип зосередження функцій

Функції в системі мають неоднакову роль і значення. Кожна нова функція є певною мірою частиною більш загальної функції. Це означає, що в прогресивному розвитку кожна функція, що виникає, слугує іншій, більш загальній функції, а та, в свою чергу, відповідає іншій, ще більш значущій, і так аж до первинної функції всього живого — функції збереження життя. Така закономірність взаємовідношень в розвитку функцій виступає свого роду *зосередженням зусиль окремих функцій для виконання основної функції*. Так, наприклад, функція пересування слугує функціям харчування і захисту. Сама ж функція пересування (руху) поділяється на первинну функцію пересування всередині організму, і вторинну — переміщення всього організму. Функція пересування тіла поділяється на підлеглі функції — плавання, сухопутний рух, політ. Кожна з трьох останніх поділяється на ще дрібніші. Наприклад, пересування по деревах. До того ж розщеплення основної функції на вторинні слугує для посилення основної. Цей приклад субординації функцій демонструє їх зосередження на виконанні головної функції цілісного організму (системи), його руху, у вигляді ієрархічної залежності функцій різних рівнів.

Цікавим також є приклад *ієрархії функцій*, що наводиться зачинателем теорії систем Л. Берталанфі. Так, в довільних рухах тварин виділяються такі рівні: перший — фізико-хімічні реакції в м'язах; другий — скорочення м'язів; третій — прості рефлексії, зв'язані з певними центрами в спинному мозку; четвертий — складні рефлексії — великої групи м'язів; п'ятий — тропотактичні реакції, що відносяться до органів руху, які повертають тіло назустріч джерелу подразнення або від нього; шостий — реакція тіла в цілому, яка керується вищими центрами нервової системи; сьомий — «реакції сукупностей організмів», що залежать від «надіндивідуальних» одиниць, наприклад рух стада за вожаком. Цей приклад ієрархічної залежності також ілюструє зосередження функцій, оскільки функція одного рівня не просто підпорядкована функції іншого рівня, а є умовою її здійснення. Така залежність відносин в розвитку функцій є вираженням зосередження окремих функцій на здійсненні основної і називається принципом зосередження функцій.

Але ієрархічна залежність функцій являє собою лише одну з форм вияву принципу зосередження функцій. Так, О. Богданов підкреслив дві основні форми організації: централістична, що відповідає ієрархічній формі, та скелетна або ацентрична, що принципово відрізняється від ієрархічної форми. Прикладом першої є атом з ядром, сонячна система з Сонцем, стадо з вожаком, вулик з маткою, другої — черепашка моллюска, скелет організму, схема твору. Однак скелетна форма організації, за Богдановим, є формою деградації системи, яка універсалізує при цьому централістичну форму організації. В дійсності ж це дві специфічні, самостійні форми організації, що відповідають тим чи іншим умовам існування системи, а спільним для цих форм організації регуляційним процесом є принцип зосередження функцій [17].

7.3.4. Принцип лабільізації функцій

Міра організованості системи, безумовно, має високу залежність від того, наскільки повно актуалізовані та зосереджені функції її елементів. Але принципи актуалізації та зосередження функцій майже жодним чином не дають відповіді на питання проте, які *умови* визначають *перетворення властивостей елементів у їх функції*. Серед найголовніших умов такого перетворення є динамічний стан системи, розширеним її функцій та певна цілеспрямованість руху системи з орієнтиром на самовдосконалення. Достатньо обґрунтованим, наприклад, є положення про те, що такою умовою стосовно біологічних систем є достатній рівень динамічності системи, яка при ньому зберігає стійкість (відносну незмінність) своєї структури. Так, в процесі розвитку біологічних систем, який характеризується, насамперед, підвищенням ступеня і висоти їх організації, постійно зростає стійкість їх структур та лабільність їх функцій. Під **лабільністю** функцій в даному випадку розуміється здатність (можливість) системи мати все більшу кількість функцій та їх взаємозаміну (заміну) без суттєвої зміни самої структури.

Достатньо очевидно є та обставина, що зміна співвідношення між стійкістю структури і лабільністю функцій тісно пов'язана з принципами актуалізації та зосередження функцій, але цілком до них лише не зводиться. Якщо принципи актуалізації та зосередження відображають можливість і необхідність функціоналізації властивостей та регуляції функцій, які виникли для забезпечення розвитку системи і збереження її структури, то зміна співвідношення стійкості структури і рухливості (лабільності) її функцій

відображає спрямованість процесу організації на її підвищення, підняття на якісно новий рівень. Таке розуміння процесу вдосконалення організації можна назвати принципом лабілізації функцій [17].

Стійкість структури певною мірою є результатом інтегрованості її елементів, що об'єднані корелятивними зв'язками. Саме стійкість структури створює умови для лабілізації її функцій, їх поліфункціональності, що відображає підвищення її організованості. Таке розуміння принципу лабілізації функцій дає можливість логічно обґрунтувати таку залежність: організованість системи буде тим вищою, чим вищою буде стійкість її структури та лабільність функцій елементів, що спрямовані на збереження специфічних властивостей і функцій системи як цілісності.

7.4. Рівень організації системи

Поряд з викладеними загальними принципами організації систем важливу роль відіграють регуляційні процеси в системах. Ці обставини в сукупності визначають рівень організованості системи. Взагалі система буде здатною до збереження цілісності своєї структури і спрямованості свого руху лише за умови наявності в ній регуляційних процесів. Найбільш загальним виразом регуляційності будь-якої системи є *принцип Ле-Шательє* — *система лише тоді є системою, коли в її структурі при дії зовнішніх сил виникають процеси, спрямовані на протидію цим силам і на збереження існуючого стану системи*. Такі процеси називаються регуляційними.

У зв'язку з цим важливого значення набуває змістовне розмежування понять управління і регулювання. Управління потрібно розглядати як найвищий ступінь регуляції. В складних системах зазвичай існує декілька регуляторів, що є ієрархічно підпорядковані. Головний же «найвищий» регулятор і називається управляючою системою. Тому управління — це форма регуляції, яку на основі принципу Ле-Шательє можна визначити як процес зміни взаємозв'язку елементів системи, що спрямований на її збереження. Таке визначення охоплює всі види регуляції, в тому числі і процес управління. В той же час управління — це процес такої зміни взаємозв'язку елементів системи (шляхом передачі інформації по каналах зв'язку), в результаті якого підтримується і посилюється функціональний характер властивостей цих елементів.

Таким чином, регуляція і управління спрямовані на підвищення рівня організованості системи. В науковій літературі робляться спроби розрізнити поняття «висоти організації» і її «досконалості», з одного боку, та поняття «висхідного розвитку» і «прогресу» — з іншого. Так, прогрес — це певна спрямованість і нові можливості розвитку системи, зростання її еволюційної пластичності (гнучкості, пристосованості). Висота організації (рівень організації) — це певний стан системи, який досягнутий нею в результаті еволюції («розвитку»). Тобто, прогрес — це особливий вид розвитку, а висота організації — це результат (стан) такого розвитку. В поняття «висота організації» входять аспекти як якісної, так і кількісної відміни даного об'єкта від інших об'єктів; воно відображає момент переходу на новий якісний рівень і включає визнання прогресивності як можливості нових змін, тобто еволюційної пластичності системи. Разом з тим поняття «високоорганізований» відображає і ступінь організованості об'єкта. Звідси виходить, що поняття «прогресивність» відображає лише один з моментів «висоти організації» і є вужчим за змістом.

Поняття «висота організованості» відображає якісне перетворення об'єкта, його перехід на новий рівень, а «ступінь організованості» — лише його зміни в межах однієї якості, тобто в кількісному аспекті. Оскільки ж якісне перетворення неминуче пов'язане з кількісними його змінами, то всі зміни висоти організації зв'язані зі змінами «ступеня організованості» системи. Таким чином, зміна ступеня організованості системи пов'язана з будь-яким її перетворенням, а зміна висоти організації — лише з якісним переходом її до нового стану.

Такі стани системи значною мірою залежать від сили вияву та взаємодії названих вище принципів організації системи. Тому висота організації системи буде визначатися тим, якою мірою здійснюється (виявляється) актуалізація функцій за рахунок зміни структури (виникнення нової властивості і нової функції) та в якій мірі функції здатні замінювати одна одну. Чим стійкіша структура і більш рухома функція системи, тим вище рівень її організації.

7.5. Самоорганізація. Синергетика

Загалом розділяють три види процесів організації систем: організація системи ззовні, самоорганізація, змішана організація.

Організація системи *ззовні* являє собою її впорядкування за рахунок елементів, об'єктів, що не входять до даної системи, тобто це «примусова» організація. Прикладом може бути взаємодія об'єкта і суб'єкта адміністративного управління: вплив міністерства на роботу підприємства, вплив центрального органу влади на розвиток регіону, утворення нового підприємства адміністративним рішенням.

Самоорганізація — еволюційне впорядкування (самовдосконалення) системи за рахунок її власного внутрішнього потенціалу та певного поєднання факторів зовнішнього середовища. Важливою умовою самоорганізації є здатність системи до адаптації, яка в даному випадку є механізмом, що перетворює вплив зовнішнього середовища в енергію і мотив певної перебудови системи з метою підвищення її життєздатності, стійкості та ефективності функціонування. Такі процеси мають подвійний характер: з одного боку, вони цілеспрямовані, з іншого — спонтанні, важко передбачувані. Але в будь-якому випадку — ці процеси є внутрішньосистемними і реалізуються конкретною системою автономно, за рахунок її внутрішнього потенціалу і виключно в інтересах цієї системи.

В складних, ієрархічних різноякісних системах самоорганізація або зовнішня організація в чистому вигляді зустрічаються дуже рідко, зазвичай вони поєднуються і виступають у вигляді змішаної самоорганізації, тобто такого впорядкування системи, де органічно сполучаються і переплітаються одночасно процеси зовнішнього впливу та внутрішньої самоорганізації.

Самоорганізація може виявлятися у вигляді таких процесів:

самозародження (самовиникнення) системи, як утворення якісно нової цілісності на основі певної сукупності об'єктів певного (нижчого) рівня (наприклад, генезис багатоклітинного організму з декількох одноклітинних або утворення виробничого комбінату шляхом технологічного та організаційного об'єднання декількох споріднених підприємств);

процеси, що утримують певний стан та організацію системи в умовах зміни зовнішнього та внутрішнього середовища (наприклад життя мурашника); ці процеси доцільно називати саморегуляцією, яка, з одного боку, не дозволяє системі вийти із існуючого (заданого) стану, але з іншого — не виводить її на якісно вищий рівень;

процеси самовдосконалення і саморозвитку системи, які завдяки накопиченню та використанню внутрішнього потенціалу та досвіду цілеспрямовано переводять систему до якісно вищого стану (структурного, функціонального, організаційного), який посилює стійкість та ефективність функціонування.

Властивість самоорганізації системи досить рельєфно виявляється на етапі її нестійкого, нестабільного стану, зокрема кризового та катастрофічного станів (див. розділ 4). Такі стани називають *точкою біфуркації* системи — певна точка траєкторії (розвитку) системи, в якій її неможливо описати (змоделювати) за допомогою «старих», традиційно притаманних закономірностей (принципів, параметрів). У таких точках система стає надзвичайно чутливою до найменших змін і впливів (як зовнішніх, так і внутрішніх) і передбачити ймовірну траєкторію її подальшого руху майже неможливо. Загалом біфуркацію можна визначити як такий стан системи, коли вона набуває або може набути нової якості при незначних змінах її параметрів (складу, структури, організації тощо).

Ймовірним наслідком біфуркації може стати катастрофічний стан системи, який можна характеризувати як хаос. Стосовно визначення хаосу є різні трактування: а) відсутність будь-якого порядку; б) руйнування певного порядку (структури); в) непізнаний порядок; г) інший порядок, що не узгоджується з порядком конкретної системи (це може бути якісно нижчий або якісно вищий порядок). Загалом же катастрофічний процес характеризується поєднанням таких станів: занурення в хаос, перебування в хаосі, вихід із хаосу — самоорганізація.

Занурення в хаос характеризується наростанням передкризових явищ (так званих «вимпелів катастроф»): критичне сповільнення традиційно властивих для системи ритмів; зростання амплітуд флуктуацій (ви-

падкових, нехарактерних та непрогнозованих відхилень параметрів від середніх їх значень). Кризовий стан системи не настає раптово чи випадково, він має стосовно конкретної системи певні ознаки. Наприклад, підвищення температури тіла перед захворюванням, зміна курсів та обігу капіталу перед економічною кризою, затишшя перед бурею тощо.

Перебування системи в хаосі характеризується таким її динамічним станом, коли вона має непостійну, швидко змінювану множинність структур, невідповідність попередніх і наступних параметрів, «хаотичність» загальної траєкторії руху. В цьому стані система є максимально відкритою та «беззахисною» перед найменшими зовнішніми впливами, які в такій ситуації можуть суттєво змінити систему. Але в цій стадії вже є приховані передумови для самоорганізації: відкритість системи сприяє отриманню нової інформації та енергії ззовні, що сприяє її синхронізації та гармонії з оточуючим середовищем. Ця обставина і є одним з креативних джерел хаосу, що сприяє самоорганізації системи.

Вихід з хаосу характеризується появою нового «порядку» в житті системи і є зовнішнім виявом, «вінцем» самоорганізації. Він може виявлятися в таких способах:

поступове зростання певного елемента (структурного утворення) в матеріальному та функціональному відношеннях, навколо якого еволюційно «згуртовуються» і організуються інші складові системи та (або) об'єкти, що раніше до неї не входили;

народження певного (нового) порядку в результаті взаємодії, взаємоприспосовування та взаємоузгодження елементів, що змінили свої властивості, перебуваючи в хаосі;

здійснення зворотних біфуркацій, які приводять систему до іншого, але якісно не нового, порядку.

Синергетика як загальнонаукова теорія досліджує процеси, закони самоорганізації систем будь-якої природи. Вона виникла на основі результатів досліджень в різних галузях науки, які переконливо показали, по-перше, що процеси самоорганізації властиві для всіх нерівноважних, відкритих систем; по-друге, процеси самоорганізації в системах різної природи підлягають однаковим законам і принципам. В науковий обіг термін «синергетика» запровадив Герман Хакен (1969 р.), який довів, що існує подібність в процесах взаємодії (самоорганізації) елементів, що належать до абсолютно різних якостей. Відповідно до цього синергетика спирається на подібність формалізованого опису (математичних моделей) процесів самовпорядкування систем, незважаючи на якісну відмінність між ними. Синергізм (в перекладі з грецької — співробітництво, співдружність) — це явище, в якому загальний результат процесу якісно перевершує суму часткових ефектів, що складають цей процес. Таке якісне перевершення відбувається за рахунок несумативного, а органічного, інтегративного поєднання властивостей взаємодіючих елементів. Така взаємодія зумовлює, зокрема, властивість емерджентності. Синергетика шукає відповідь на питання, як просте переростає в складне, як у цьому складному народжуються якісно нові (емерджентні) властивості та сили.

Синергетика сформулювала такі ознаки процесів самоорганізації [22, с. 215]:

- гомеостатичність;
- ієрархічність;
- нелінійність;
- нестійкість;
- незамкненість;
- динамічна ієрархічність.

Процеси самоорганізації, безумовно, є досить поширеними, але вони є не абсолютними, а можуть відбуватися за наявності таких неодмінних умов:

1. Самоорганізація може відбуватися в системах, які володіють ознаками відкритості, нелінійністю розвитку, мають зворотні зв'язки. Загалом — це складні системи.
2. Система має бути в стані нестійкої рівноваги, яка характеризується наявністю певних фаз, перехідних етапів, біфуркації. В протилежному випадку відпадає сама доцільність самоорганізації.

3. В системі мають існувати механізми відбору, які дають змогу «відкинути» шкідливі та «залишити» корисні для системи елементи, зв'язки, функції.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення сутності організації системи.
2. В яких аспектах відбувається організація системи ?
3. У чому полягає сутність основних законів організації?
4. У чому полягає пріоритетність принципів функціональної організації систем ?
5. У чому полягає принцип лобіалізації функцій?
6. У чому полягає принцип Ле-Шательє?
7. Які є види процесів самоорганізації системи ?
8. Яка роль біфуркації в розвитку системи?
9. Що означає хаос в системному розумінні?
10. У чому сутність синергетики?
11. Назвіть ознаки процесів самоорганізації.
12. Які умови необхідні для процесів самоорганізації?

Розділ 8.

ІНФОРМАЦІЙНІ АСПЕКТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ

8.1. Поняття інформації

Відомо, що первинною необхідною умовою існування будь-якої системи є наявність зв'язків між її елементами. Зв'язки — це обмін (потоки) речовиною, енергією та інформацією між елементами системи а також між системою та середовищем, що її оточує. Тобто інформація є одним з носіїв зв'язку між елементами, власне, сутністю зв'язку.

Інформаційні зв'язки виявляються в багатьох системах різної природи, але в класичному розумінні такі зв'язки властиві для складних організованих систем. Однією з необхідних умов вияву (реалізації) функціональних властивостей системи, про які йшлося раніше, є наявність інформаційної взаємодії між її елементами, тобто наявність не лише каналів зв'язку, а й матеріальної їх наповненості сигналами. Інформаційність системи виявляється в її здатності втілювати інформаційну суть сигналів та в здатності кодувати повідомлення.

Інформація (лат. *information* — роз'яснення, повідомлення), як одне з основних понять кібернетики означає сукупність певних відомостей, даних.

Цей термін належить до вихідних, аксіоматичних понять науки. Поняття інформації розкривається сутністю дій, в яких вона бере участь, а саме: передача, перетворення, зберігання. Вивчення загальних властивостей інформації незалежно від її змісту є предметом теорії інформації.

Існує декілька трактувань терміна «інформація», а саме:

- зменшення невизначеності як результат отримання повідомлення;
- повідомлення, що нерозривно зв'язане з управлінням, управлінський сигнал;
- передача, відтворення, відображення різноманітності в будь-яких об'єктах і процесах як живої, так і неживої природи.

Інформація, як явище об'єктивної реальності, володіє багатьма різноманітними властивостями, найважливішими серед яких є:

- адекватність — відповідність повідомлень, сигналів реальним процесам і об'єктам;
- релевантність — відповідність інформації певним задачам, для вирішення яких вона призначена;
- правильність — відповідність між змістом інформації та способом її вираження (представлення).
- точність — відображення відповідних об'єктів, явищ і процесів з мінімальним спотворенням чи з мінімальними похибками;
- актуальність — (або своєчасність) — можливість використання інформації саме в той момент часу, коли потреба в ній найбільша;
- узагальненість — незалежність суті та загального змісту інформації від окремих часткових змін
- детальність — відображення з відповідною повнотою всіх суттєвих обставин і ознак.

Цілком очевидним є те, що далеко не кожна інформація володіє повною мірою переліченими властивостями. Тому ці властивості доцільно і необхідно розглядати одночасно і як вимоги, яким повинна відповідати інформація, особливо наукова.

В нинішніх умовах інформація розглядається як фундаментальна властивість матерії в філософському розумінні. Роль інформації в існуванні систем надзвичайно велика. Поняття інформації завдяки його загальності набуло змісту філософської категорії. Для теорії систем, зокрема, поняття інформації є таким же фундаментальним, як поняття енергії для фізики.

Однією з найбільш специфічних ознак інформації є «несиловий» характер її дії. Несилова дія виявляється в тому, що при незначній величині енергії сигналу, що несе інформацію, енергія реакції сприймаючої системи є незрівнянно більшою. Достатньо очевидно є та обставина, що міра перетворень в сприйма-

ючій системі залежить, насамперед, від «змісту» сигналу, а не від його енергії. Це дає підстави, з одного боку, говорити про нематеріальність інформації, а з іншого — про те, що інформація матеріальна, але при цьому вона не є власне матерією, а лише її особливою властивістю.

Ця незвичайна властивість інформації не дає спокою людському розуму впродовж тисячоліть. Дійсно, слово або, наприклад, інший знак набуває такої могутності, що людина «одним лише помахом руки» здатна привести в рух тисячі інших людей, а просте натиснення кнопки може потрясти і навіть знищити всю планету.

8.2. Інформаційні властивості елементів

Загальна модель інформаційної взаємодії базується на поняттях «вхід» і «вихід», що характеризують зв'язки елемента з оточуючим його її середовищем (воно є, зазвичай, внутрішньосистемним, але досить часто і зовнішнім не лише стосовно елемента, а й стосовно системи в цілому). Схема такої взаємодії зображена на рис. 8.1. Потoki інформації впливають на «входи» елемента (P_1, P_2, \dots, P_n) та формують в результаті цього впливу певні стани елемента (S_1, S_2, \dots, S_g), які відображаються («знімаються») на його «виходах» (B_1, B_2, \dots, B_K). В залежності від властивостей та внутрішнього потенціалу певного елемента він може змінюватись, перетворюватись або ж не зазнавати суттєвих змін в результаті інформаційного впливу. Зміна станів елемента також значною мірою залежить від характеру вхідної інформації, її кількості, сили тощо». Кількісною мірою співвідношення між «входом» і «виходом», а також зміни стану елемента (його реакції на інформаційний вплив) слугує інтенсивність на вході у відношенні до інтенсивності на виході. В даному випадку інтенсивність — це кількість інформації в розрахунку на одиницю часу. Тобто можна говорити про ефективність інформаційного впливу, яка ілюструється такою емпіричною формулою:

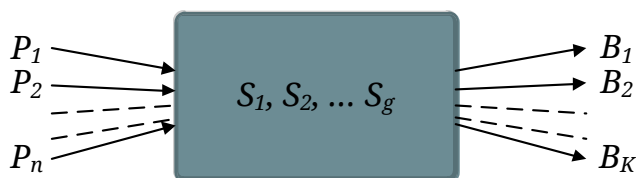
$$E = I_w / I_v, \quad (1)$$

де: E — ефект інформації;

I_w — інтенсивність інформації на «виході»;

I_v — інтенсивність інформації на «вході».

Ефективність інформаційного впливу буде вважатися тим вищою, чим більше буде значення E .

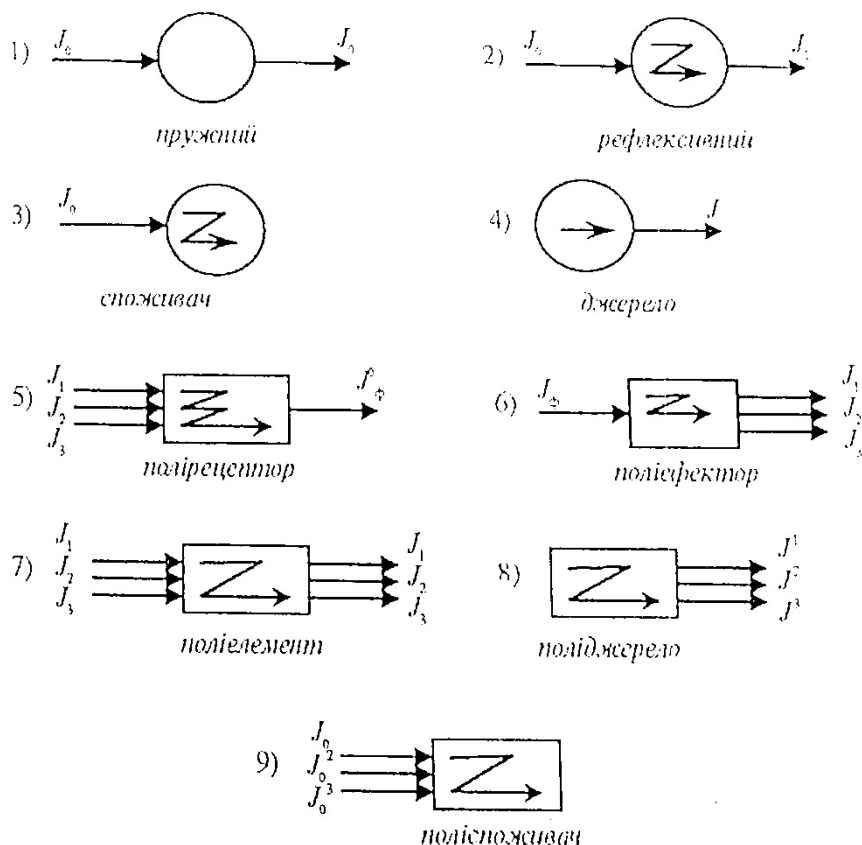


Малюнок 8.1. Кібернетична схема елемента

За характером участі в інформаційних процесах В. Карташов виділяє різновиди елементів (рис. 8.2):

- 1) пружний елемент — стійкий до зовнішнього впливу, однозначно передає інформацію по зв'язку;
- 2) рефлексивний — здійснює внутрішнє перетворення інформації, передає її в зміненому вигляді;
- 3) елемент-споживач — сприймає інформаційний вплив, може перетворювати його, але не передає отриману інформацію;
- 4) елемент — джерело — створює інформаційний вплив назовні за рахунок власного внутрішнього потенціалу;
- 5) полірецепторний елемент — рефлексивний елемент, що сприймає інформацію з декількох напрямків (каналів), певним чином перетворює її і передає в одному напрямку;
- 6) поліефеїсгорний елемент — рефлексивний елемент, що сприймає інформацію з одного напрямку (каналу), перетворює її і передає в кількох напрямках;
- 7) поліелемент — рефлексивний елемент, що сприймає інформацію з декількох напрямків та передає її декількох напрямках;
- 8) поліджерело — елемент — джерело, що створює інформаційний вплив у декількох напрямках;

9) поліспоживач — споживач, що сприймає інформаційний вплив з декількох напрямків.



Малюнок 8.2. Інформаційні різновиди елементів

8.3. Інформаційні процеси в системі

Елементи системи пов'язані між собою інформаційними потоками. Циркуляція інформації в системі можлива за умови, коли система володіє інформаційними ресурсами, здатна здійснювати сприймання, переробку та передачу інформації. Система існує в певному інформаційному середовищі, яке може заважати передачі і отриманню інформації, спотворювати її. Для ефективного функціонування інформаційного процесу необхідно забезпечити відповідні умови, зокрема:

- запобігання спотворенню інформації як на передачі, так і на прийомі;
- створення мови інформації, що була б зрозумілою і доступною всім учасникам (елементам інформаційного процесу);
- забезпечити ефективний пошук, отримання та використання інформації.

Засновник теорії оптимального кодування (під якою зазвичай і розуміють теорію інформації) К. Шеннон (1963) встановив, що для передавання певного повідомлення (інформації) передавальна система повинна володіти різноманітністю властивостей своїх елементів. Чим більше різноманітності, тим більше інформації може бути передано. Проте сам К. Шеннон і його послідовники наполегливо підкреслювали, що кількість різноманітності сигналів ще не визначає цілісності інформації, її змістовності та якості.

Для передавання певного повідомлення необхідною умовою є наявність достатньо визначеного мінімуму енергії сигналу. Так, світловий сигнал може бути переданий і сприйнятий лише при певній яскравості джерела світла. В фізіології давно і точно встановлено, за якої величини енергії впливу сигнал стає «закороченим», тобто не сприймається, а при збільшенні потужності він стає руйнівним. Потрібно зауважити, що енергія сигналу є завжди дещо більшою для передачі даного повідомлення, вона надлишкова. Таке ж спостерігається в будь-якій іншій матеріальній діяльності: енергії витрачається набагато більше, ніж це потрібно для виконання даної роботи. Це все стосується кількісного боку інформаційного процесу.

Якісний бік інформації пов'язаний з трансформацією одних видів енергії в інші. Справедливим є те, що одна й та ж інформація може бути передана якісно різними енергетичними носіями. Але неправильним є те, що інформація може бути сприйнятою у вигляді різних видів енергії. Електрична (чи електронна) машина, наприклад, може сприймати інформацію лише у вигляді електричних сигналів, механічна — у вигляді механічних, хімічна — у вигляді хімічних. Для того, щоб електрична машина відреагувала на механічний або світловий вплив, цей вплив повинен бути перетворений у електричні сигнали. Наявність відповідних перетворювачів (органи відчуттів або аналізатори у тварин і людини) знімає відмінність між окремими видами енергії сигналів і є причиною уніфікації всіх форм впливу в одну, що відповідає специфікації сприймаючої системи. В цьому випадкові інформація та її сила зазнають і низки перетворень, що зумовлює велику опосередкованість початкового впливу відносно реакції відображаючої системи.

Все це дає підстави стверджувати, що всі ті процеси, які зазвичай називаються інформаційними, за своєю суттю є процесами енергетичними. Але вони мають надзвичайно специфічний характер і тому вимагають особливого визначення, яким і є поняття інформації. Необхідно також розрізняти поняття «сигнал» та «інформація», які відображають різні сторони одного процесу.

Сигнал — це енергетичний вплив, здатний перевести сприймаючу систему в якісно новий стан стрибком. Сигнал, як матеріальний носій інформації, виступає засобом перенесення її у просторі і в часі. В якості сигналів можуть виступати певні матеріальні об'єкти (звук транспорту, мова викладача тощо), але не власне об'єкти, а певні їх стани. Для утворення сигналів можна використовувати лише такі об'єкти, стан яких достатньо стабільний в часі та просторі. За такими ознаками сигнали поділяють на статичні (стабільний стан фізичних об'єктів — книга, дискета) та динамічні (динамічні стани силових полів — звуки, радіосигнали). Перші використовуються переважно для зберігання інформації, другі — для її передавання.

Особлива роль сигналів в системі полягає в тому, що вони (на відміну від речовинних і енергетичних потоків, які живлять систему), переносячи інформацію, впорядковують, організовують систему.

Інформація — відношення якісної і кількісної відповідності між енергією впливу і енергією відображення, що визначає сигнальний характер впливу. Тобто інформація — це завжди відношення двох систем (або елементів).

Таким чином, розкриваючи сутність і зміст поняття інформації, необхідно підкреслити такі аспекти інформаційного процесу:

1. Ефект підсилення. Він визначається наявністю вільної енергії сприймаючої системи, критичністю її стану (за певним даним параметром) стосовно зовнішнього впливу. Чим вищою буде критичність системи, тим менше потрібно енергії впливу, необхідної для її перетворення, тим вища інформаційна цінність, змістовність такого впливу. Це є виразом кількісної відповідності між енергією сигналу та енергією реакції на нього.
2. Необхідність якісної відповідності між енергією впливу і енергією відображення. При опосередкованій відповідності цих *енергій* інформаційний процес буде можливим лише за умови наявності чітко визначених перетворювачів енергії.
3. Зв'язок інформаційного процесу з процесом відображення та регуляцією системи. Важливість інформації для процесу управління і саморегуляції визначається її підсилюючим характером. Це означає, що в системах реалізується інформаційне (сигнальне) відношення окремих видів енергії з метою більш ефективного впливу однієї системи на іншу.

Для високоорганізованих систем важливою умовою є методи втілення інформаційної сутності сигналів (семантика) та способи кодування повідомлень (семіотика). Зміст та якісна оцінка інформації характеризуються такими ознаками [10, с. 43]:

- семантична — відображає смислове значення інформації;
- семіотична — визначає спосіб кодування інформації та її вираз в різних шифросистемах;
- аксіологічна — цінність інформації для функціонування системи.

В простих кібернетичних системах зміст інформації передається засобами синтаксису або суто формальних, структурних властивостей мови. Тим самим вид повідомлення однозначно визначає його зміст. Складна система має семіотичну структуру, тобто повноцінну мовну природу інформаційних зв'язків. У цьому випадку однозначність при передаванні порушується і в процесі обробки сигналу наступником здійснюється принципово нова технологія — інтерпретація прийнятого повідомлення. Це означає, що реакція системи або сприймаючого елемента буде далеко не однозначною, вона залежить від нюансів змісту, які тією чи іншою мірою властиві сигналу. Такого роду системи повинні володіти не тільки набагато більшим інформаційним запасом, а й здатністю розрізняти змістовні елементи.

Під семіотикою розуміють сукупність теорій, що вивчають властивості знакових систем — від найпростіших систем сигналізації до формалізованих мов математичної лінгвістики і логіки. В ній виділяють:

- синтактику — дослідження знакових систем суто структурно, з точки зору їх синтезу;
- семантику — вивчення смислу і значення конструкції формалізованої мови;
- прагматику — вивчення ставлення споживача знакової системи до самої знакової системи.

В узагальненому вигляді інформаційний процес в системі уявляється у вигляді послідовно взаємопов'язаних складових, зокрема таких:

- формування вихідного сигналу «елементом-джерелом» або «елементом — транслятором»;
- визначення конкретного адресата для кожного вихідного сигналу;
- проходження сигналу каналами зв'язку;
- сприйняття сигналу елементом — «споживачем» або «елементом — ретранслятором»;
- реагування сприймаючого елемента на отриманий сигнал;
- наступна передача сигналу сприймаючим елементом (рефлексивним, рецептором, ефектором), що є власне початком нового циклу інформаційного процесу.

В підсумку потрібно підкреслити, що інформаційність є притаманною загальносистемною властивістю; інформація (в залежності від специфіки взаємодіючих систем) виявляється в різноманітних формах (біологічна, технічна, семантична); в основі всіх видів інформації лежить відповідність енергії впливу і енергії реакції — в цьому суть будь-якого інформаційного процесу.

8.4. Інформація в управлінні системою

Засновник кібернетики Н.Вінер на основі обґрунтування спільних принципів управлінської діяльності, що властиві для систем будь-якої природи, встановив, що в абстрактно-технологічному розумінні управління — це передача, зберігання і переробка інформації, тобто управління — це сигнали, відомості, повідомлення; відповідно, саме в такому контексті, управління є суть інформаційний процес. Непересічне значення робіт Н. Вінера полягає у виявленні та обґрунтуванні принципово визначальної ролі інформації в процесах управління, що відбуваються в системах різної природи, якості, сутності, складності. В нинішні часи кібернетика займається вивченням систем довільної природи, які здатні сприймати, зберігати, перетворювати інформацію та застосовувати її для управління.

Кібернетика розглядає систему як єдність управляючих та керованих елементів. Сукупність управляючих елементів — це управлінська підсистема, а сукупність керованих елементів — об'єкт управління (керована підсистема). Ці підсистеми зв'язані між собою прямими та зворотними зв'язками, що здійснюються відповідними каналами зв'язку. Управляюча підсистема каналами прямого зв'язку подає інформацію, впливаючи таким способом на керовану підсистему з метою досягнення (забезпечення) певних (завчасно визначених) її параметрів, функцій, траєкторій руху.

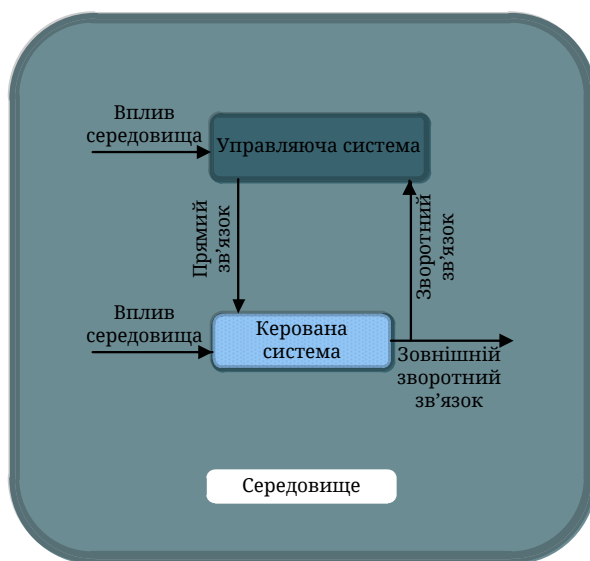
Реагуючи на такий вплив, керована підсистема певним чином змінюється і, відповідно, змінюється й вплив керованої підсистеми на оточуюче середовище та її зворотний зв'язок з управляючою підсистемою (рис. 8.3).

Кібернетичні системи — це особливий вид систем, головною ознакою яких є наявність інформації та управління. Ці системи повинні задовольняти такі необхідні умови:

- володіти відповідним складом та структурою;
- мати відповідний рівень організованості (впорядкованості);
- бути інформаційною, тобто здатною сприймати, зберігати, перетворювати та використовувати інформацію;
- володіти здатністю здійснювати зворотні зв'язки;
- мати двосторонні зв'язки із середовищем або з іншою системою вищого рангу.

В контексті управління, як інформаційного процесу, достатня організованість системи передбачає:

- необхідну взаємозв'язаність (єдність) управляючої та керованої підсистеми;
- наявність ієрархії управляючої системи, субординації, координації;
- достатню складність керованої підсистеми, що забезпечувала б адекватність її реагування на управляючий вплив;
- динамічний та рівноважно нестійкий характер функціонування керованої підсистеми, що є передумовою зміни її станів (траекторій) і, відповідно, зумовлює необхідність управляючого впливу.

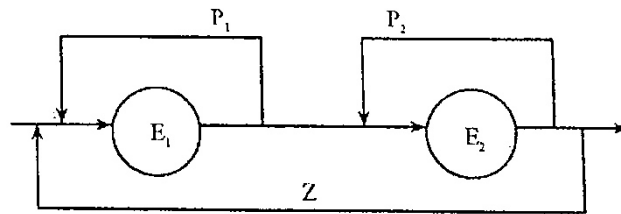


Малюнок 8.3. Схема кібернетичної системи

Інформаційна особливість кібернетичної системи полягає в необхідності постійного отримання інформації (відомостей) про вплив середовища на керовану систему, інформації про будову, стан та поведінку цієї системи, інформації про адекватність управляючої системи.

Невід'ємною умовою управління є наявність зворотного інформаційного зв'язку, що являє собою такий спосіб комунікації елементів, коли є зв'язок між входом і виходом одного й того ж елемента. Такий зв'язок може здійснюватися безпосередньо між входом і виходом або ж через інший елемент системи. Зворотні зв'язки можуть бути внутрішніми та зовнішніми (рис. 8.4). Використання ефекту зворотного зв'язку забезпечується за умов:

- постійного спостереження за станом (параметрами, функціями, траекторією) системи;
- співставлення її стану із заданими (цільовими) параметрами;
- адекватної реакції управляючої підсистеми на зміни (відхилення) в керованій системі;
- інформація про ці зміни отримується завдяки зворотному зв'язку,
- впровадження управляючого впливу на керовану підсистему через ефективні засоби, механізми.



E_1, E_2 , — елементи системи;

P_1, P_2 — внутрішні зворотні зв'язки;

Z — зовнішній зворотний зв'язок.

Малюнок 8.4. Схема зворотних зв'язків

Зворотні зв'язки можуть бути позитивними та від'ємними (негативними). Позитивний зворотний зв'язок — це такий зворотний зв'язок, який підсилює дію вхідного сигналу, тобто має однакову нап-равленість з ним, однаковий вектор, однаковий знак (плюс). Зворотний від'ємний зв'язок, відповідно, послаблює дію вхідного сигналу тобто протилежний йому (мінус). Позитивний зворотний зв'язок, підсилюючи зовнішній вплив, сприяє погіршенню стійкості системи та виводить її з рівноважного стану, а негативний зворотний зв'язок, протидіючи зовнішньому впливові, сприяє стабільності, рівноважності системи.

Запитання для самоконтролю

1. Яка роль інформації в функціонуванні системи?
2. Які головні властивості інформації та в чому полягає їх сутність?
3. Дайте характеристику інформаційної моделі елемента системи.
4. Дайте характеристику головних видів елементів за інформаційною ознакою.
5. У чому полягає сутність інформаційного процесу в системі?
6. Які особливості властиві для кібернетичних систем?
7. Яка роль зворотних зв'язків в управлінні?

Розділ 9. КЛАСИ І ТИПИ СИСТЕМ

9.1. Типізація і класифікація: наукові підходи

Існування в оточуючому людину світі великої різноманітності системних утворень зумовлює істотні труднощі щодо їх пізнання. Адже системи суттєво відрізняються між собою за речовинною субстанцією, сутністю взаємозв'язків та взаємодії, масштабністю тощо. В той же час вони мають істотні спільні риси. Для глибокого та успішного пізнання суті систем застосовують *типізацію* та *класифікацію* як методи наукового пізнання, що базуються на виявленні подібності (відмінності) об'єктів з метою їх ідентифікації. Типізація і класифікація спрямовані на порівняльне вивчення суттєвих ознак, зв'язків, функцій, рівнів організації досліджуваної сукупності об'єктів. Але між ними є різниця: типізація спрямована на виявлення великих сукупностей об'єктів, що якісно відрізняються між собою за своєю внутрішньою природою; класифікація — на виявлення певної сукупності об'єктів в межах однієї якості. Наприклад, в результаті типізації виділяють тип «соціальні системи», а в результаті класифікації в цьому типі виділяють відповідні класи систем — економічні, виробничі, демографічні.

Будь-яка класифікація (типізація) повинна об'єктивно відобразити реальну суть системи, тобто природу, внутрішній зміст її елементів, взаємозв'язки, функції, рівень організації. В той же час будь-яка класифікація буде значною мірою суб'єктивною, бо мета конкретного пізнання зумовлює відповідний «ухил» (акцент) дослідника на ті чи інші її ознаки. Тому в процесі класифікації надзвичайно важливим є обґрунтування її критеріїв (ознак), тобто певних якісних характеристик та кількісних параметрів системи, за якими вона може бути віднесена до певного типу (класу). Вибір критеріїв класифікації є надзвичайно відповідальною та досить складною в методологічному відношенні задачею.

На цю обставину справедливо вказує М. Сетров (1972), який підкреслює, що найбільш природною класифікацією систем, очевидно, буде їх поділ за критерієм лінійного ієрархічного ряду структурних рівнів. Тобто специфіка того чи іншого класу систем буде визначатися законом зв'язку їх елементів, їх організації та відношенням до прилеглих (ієрархічно) структурних рівнів. Фактично це буде класифікація за принципом просторової ієрархії, яка значною мірою співпадає з класифікацією основних форм руху матерії: механічна, фізична, хімічна іт. ін. Але, розглядаючи послідовний ряд просторово-генетичної ієрархії, можна виявити, що деякі системи, які знаходяться на різних рівнях ієрархії, володіють однаковими властивостями. Інша складність полягає в тому, що на рівні соціальних систем, наприклад, виникають штучні механізми, що мають динамічну природу, але разом з тим імітують поведінку живих систем. Тобто виникає проблема, чи їх відносити до фізичного чи до соціального рівня? Та, якщо за основу класифікації брати основні організаційні принципи систем, то знову виникає суперечність, бо ці принципи є загальними для всіх систем і в чистому вигляді вони не можуть бути класифікаційними ознаками, бо не дають змоги поділити системи на певні групи (класи). Але, якщо на основі організаційних принципів виділити головні аспекти (сторони) організації, які в різних системах реалізуються різним чином, то це може бути основою класифікації. Так, за змістовною ознакою можна виділити системи основних рівнів (типів) — фізичні, біологічні, соціальні. Кожний наступний тип системи є результатом розвитку попереднього.

Подібну позицію висловлює А. Авер'янов, який виділяє такі типи систем: механічні, фізичні, хімічні, геологічні, космічні, біологічні, соціальні, ідеальні. Він підкреслює, що кожний тип систем, в свою чергу, поділяється на дрібніші види, що знаходяться в певній ієрархічній підпорядкованості. Тобто кожний тип систем містить в собі простіші системи, починаючи з найпростіших елементарних носіїв певної форми руху матерії і до розвиненої, в якій дана форма руху виявляється повністю. Таким чином, тип системи змістовно визначається певною формою руху матерії [1].

В. Каспін [14, с. 85] підкреслює, що в залежності від мети класифікації потрібно обирати класифікаційні ознаки (критерії). Він підкреслює, що загальною метою класифікації є пізнання системи, яка передбачає адекватне відображення її суттєвих властивостей. Тому на відміну від попередньо розглянутих підходів він пропонує «паралельний» принцип класифікацій. На відміну від послідовного (ієрархічного) принципу, який характеризується наочністю, але виключає «перетин» класів за кожною з ознак, паралельний спосіб не такий наочний, але дає можливість більш чітко і гнучко визначати класи за всією сукупністю значень

класифікаційних ознак. При цьому кожний клас інтерпретується як певна область значень в n -мірному просторі класифікаційних ознак. Якщо такій області поставити у відповідність один або декілька методів аналізу, то проблема їх вибору зводиться до встановлення класу об'єкта за набором значень його ознак. Таким чином, можна виділити два підходи до класифікації систем: змістовно-організаційний — в основу покладена природа системи і, відповідно, рівень її організації; та гносеологічний — критерії класифікації визначаються метою дослідження.

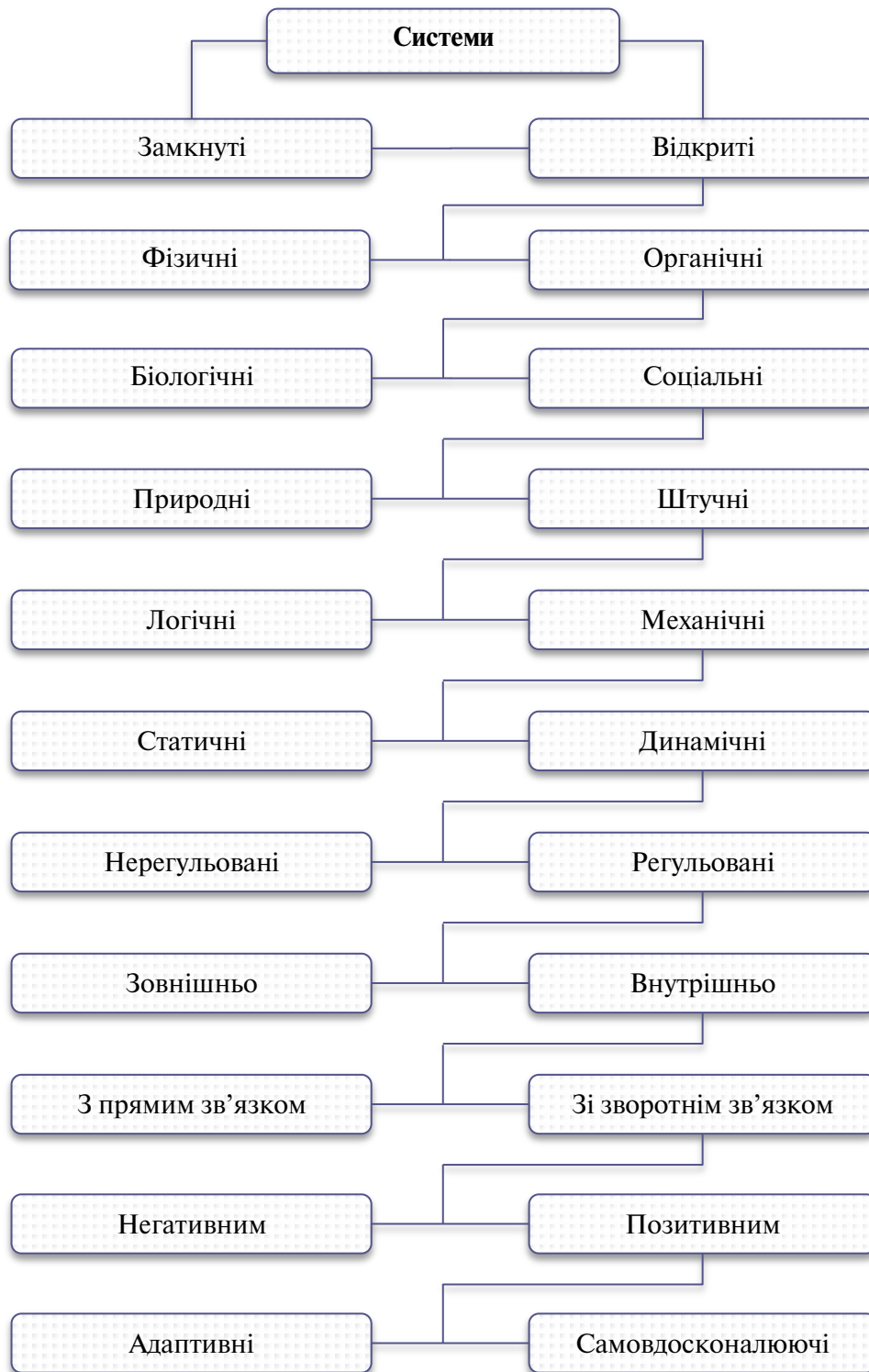
9.2. Схеми класифікації систем

Відповідно до великої різноманітності реально існуючих систем та мети пізнавальної діяльності створено багато схем їх класифікації. Але за змістовно-ієрархічним критерієм всі системи доцільно поділяти (у відповідності з формами руху матерії) на такі типи: фізичні (системи неживої природи), біологічні, соціальні.

Існує багато інших детальніших класифікацій. Так, за ознакою складності виділяються: прості, складні (розгалужені та з великою кількістю внутрішніх зв'язків) і дуже складні (які не піддаються точному і детальному описові); за ознакою зв'язку — детерміновані (всі елементи взаємодіють точно передбачуваним способом) та ймовірнісні (точно передбачити поведінку системи не можна, але з певною мірою ймовірності можна чекати тієї чи іншої події); за ознакою відкритості — відкриті (які обмінюються інтенсивно зі своїм середовищем речовинними, енергетичними та інформаційними потоками) і замкнені (обмін обмежений).

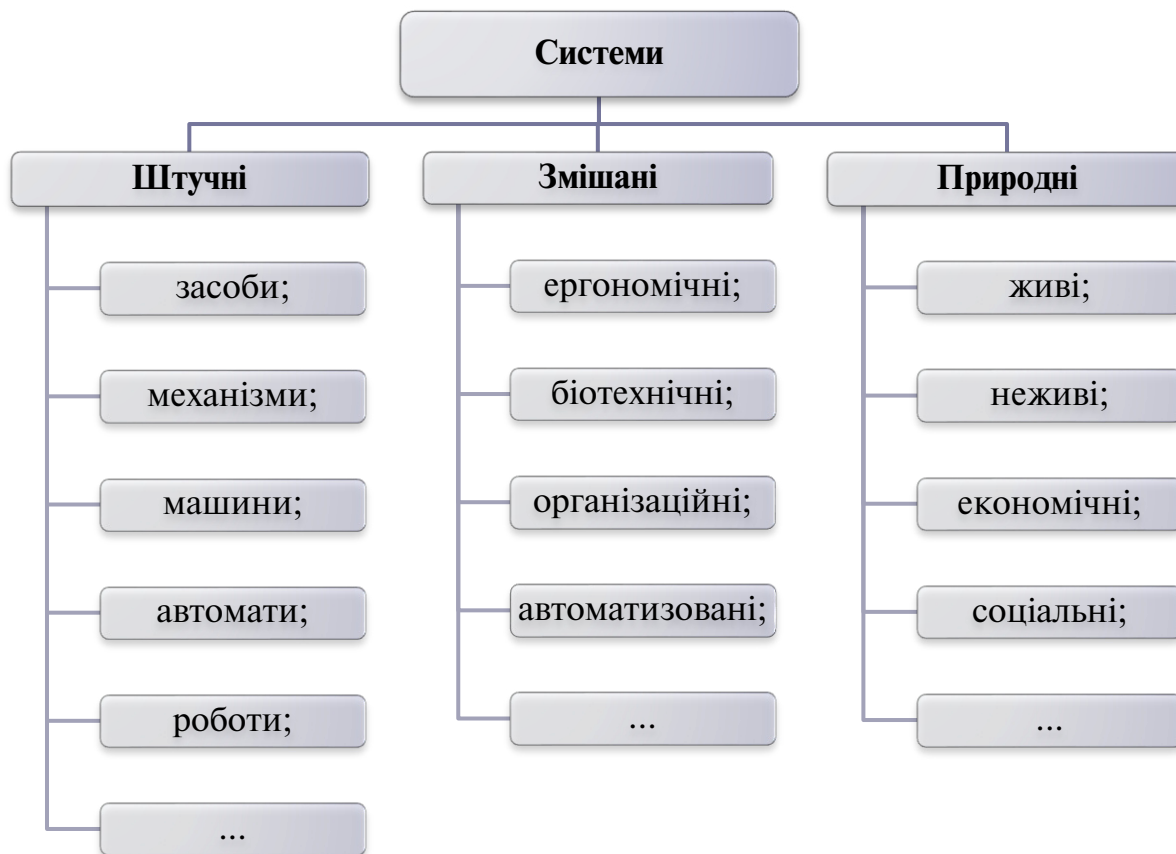
М. Сетров пропонує класифікацію систем (рис. 9.1), з якої видно, що на основі структурного принципу системи поділяються на три основних класи (типи): фізичні, біологічні, соціальні. За динамічною, регуляційною та інформаційною ознаками детально класифікується лише особливий клас штучних систем — механічні (а точніше, фізичні) системи. Подібну детальну класифікацію можна було б навести стосовно біологічних і соціальних систем. Але, оскільки саме в штучних фізичних системах (механічні та електронні машини) ці властивості організації виявлені найбільш повно, тому логічним було деталізувати класифікацію саме на цьому рівні. Крім того, важливо, що штучні системи фактично виступають як фізичні моделі структур і функцій біологічних і соціальних систем. Вони в своїх принципах організації є результатом розвитку, а разом з тим нащадком цих «прабатьківських» (базових) організацій.

У цій класифікації систем суміщені *просторово-ієрархічний* та *генетичний принципи*. На схемі більш статичні системи розміщені зліва, а більш динамічні — справа, до того ж перехід до нового рівня завжди здійснюється через перетворення більш динамічних систем. Схема також відображує співвідношення і *єдність основних сторін організації — структурної, динамічної, регуляційної та інформаційної*. Кожна наступна (в порядку розгляду) сторона є ніби розгортанням, конкретизацією попередньої, атому кожна з них не є чимось самостійним, незалежним від інших, а виступає лише як абстрактно виділений спосіб вияву організації і рівень її розвитку, вдосконалення. Звичайно, властивостей у систем набагато більше, ніж показано на схемі. Але тут вказані такі властивості (або параметри) систем, від яких залежать всі інші, наведення яких буде лише деталізацією цієї схеми, але не змінить принципів її побудови та її змістовної суті.



Малюнок 9.1. Схема класифікації систем (за М. Серовим)

Існують схеми класифікації систем за їх походженням (генезисом), приклад такої класифікації наведений на рис. 9.2.



Малюнок 9.2. Класифікація систем за походженням

Більш практично-пізнавально спрямовану класифікацію систем (як ймовірних об'єктів аналізу та прогнозування) пропонує В. Каспін [14], який до основних класифікаційних ознак (критеріїв) залучає такі: природа системи, масштабність, складність, детермінованість, характер розвитку в часі, інформаційну забезпеченість. Співвідношення ознак наведено в табл.9.1.

1. За своєю *змістовною* сутністю (природною) системи можна поділити на такі класи:
 - 1.1. Науково-технічні (системи фундаментальних та прикладних наукових досліджень, технологічні системи).
 - 1.2. Техніко-економічні (галузеві господарські системи, територіально-виробничі системи, підприємства, організаційно-економічні системи управління, система функціонування виробництва).
 - 1.3. Соціально-економічні (демографічні, працересурсні, територіальні системи послуг, системи соціального забезпечення).
 - 1.4. Військово-політичні (міждержавні блоки, військовий потенціал країни, військово-політичні доктрини, військові конфлікти).
 - 1.5. Природні (погода, клімат, природні ресурси, екосистеми, природні ландшафти).
2. За *масштабністю* системи можна класифікувати в залежності від кількості їх характеристик, необхідних для повного опису системи на стадії її вивчення (аналізу).
 - 2.1. Сублокальні — з кількістю характеристик від 1 до 3 (численність населення країни, робоче місце, траєкторія руху в тривимірному просторі),
 - 2.2. Локальні — з числом характеристик від 4 до 14 (виробнича дільниця, нескладний технічний пристрій, хід хвороби).
 - 2.3. Субглобальні — з числом характеристик від 15 до 35 (цех, регіональна мережа авіаліній).
 - 2.4. Глобальні — з числом характеристик від 36 до 100 (підприємство, технічна система типу «верстат», транспортна мережа регіону).
 - 2.5. Суперглобальні — з числом характеристик понад 100 (галузь господарства, велике підприємство, комбінат, велика технічна система типу «літак», транспортна мережа країни).

Масштабність системи необхідно враховувати при організації процесу обробки вихідної інформації, виборі технічних засобів їх обробки, розрахунках обсягів пам'яті електронних машин.

3. За ознаками складності системи можна класифікувати на основні ступеня взаємозалежності їх характеристик, що використовуються для опису систем.
 - 3.1. Найпростіші — системи з відсутністю суттєвих взаємозв'язків між їх характеристиками, такі системи можна аналізувати шляхом послідовного вивчення незалежних характеристик (в математичному розумінні — змінних), що складають опис при будь-якій масштабності об'єкта.
 - 3.2. Прості — системи, в описі яких містяться взаємозв'язки між змінними (характеристиками): для аналізу таких систем можуть бути використані прості моделі апроксимації функцій взаємозв'язку, моделі парних регресій, нескладні експертні методи оцінки взаємозв'язків між змінними.
 - 3.3. Складні — системи, для адекватного опису яких необхідно враховувати взаємозв'язки і взаємовплив декількох значущих змінних (характеристик) — трьох і більше; для аналізу таких систем застосовують методи ступеневих регресійних залежностей, методи множинного кореляційно-регресійного аналізу.
 - 3.4. Надскладні — системи, для опису яких необхідно враховувати взаємозв'язки між змінними; головні інструменти аналізу — множинний кореляційний аналіз, факторний та дисперсний аналіз.
4. За ступенем детермінованості виділяють такі системи.
 - 4.1. Детерміновані — системи, опис яких представляється в детермінованій формі без суттєвих втрат пізнавальної інформації.
 - 4.2. Стохастичні — системи невизначеної поведінки, для аналізу яких необхідне врахування випадкових складових.
 - 4.3. Змішані — системи, опис яких можливий частково в детермінованому, частково в стохастичному вигляді.
5. За характером розвитку в часі системи поділяються на:
 - 5.1. Дискретні — системи, стан яких змінюється стрибкоподібно в фіксовані моменти часу.
 - 5.2. Аперіодичні — системи, розвиток яких відбувається у вигляді безперервної аперіодичної функції часу.
 - 5.3. Циклічні — системи, що розвиваються у вигляді періодичної функції часу.

Таблиця 9.1. Класифікація систем (за В. Каспіним)

Код ознаки	Класифікаційні ознаки системи					
	Природна сутність	Масштабність	Складність	Детермінованість	Розвиток в часі	Інформаційна забезпеченість
1	Науково-технічна	Сублокальний	Найпростіші	Детерміновані	Дискретні	Повна кількісна забезпеченість
2	Техніко-економічна	Локальний	Прості	Стохастичні	Аперіодичні	Неповна кількісна забезпеченість
3	Соціально-економічна	Субглобальний	Складні	Змішані	Циклічні	Якісна інформація
4	Військово-політична	Глобальний	Надскладні			Відсутність інформації
5	Природна (біологічна)	Суперглобальний				

6. За ступенем інформаційної забезпеченості системи поділяються наступним чином.
 - 6.1. Системи з повним забезпеченням кількісною інформацією, для яких є в наявності ретроспективна кількісна інформація в обсязі, що достатній для передбачення поведінки системи.
 - 6.2. Системи з неповним забезпеченням кількісною інформацією, яка дозволяє використання статистичних та екстраполяційних методів, але не забезпечує достатньо достовірного передбачення поведінки об'єкта.

- 6.3. Системи з наявністю лише якісної інформації з повною відсутністю або дуже суттєво обмеженою кількісною інформацією.
- 6.4. Системи з повною відсутністю ретроспективної інформації — це, як правило, реально неіснуючі системи, створення яких проектується.

Наведена класифікація зорієнтована на вивчення систем з метою їх аналізу та прогнозування. З урахуванням кількості класів по кожній з шести перелічених класифікаційних ознак одержуємо: $N = 5 \times 5 \times 4 \times 3 \times 3 \times 4 = 3600$ різноманітних класів систем як об'єктів прогнозування.

9.3. Особливості основних типів систем

Означення фізичних систем як типізаційна ознака та як вираз їх змістовної сутності застосовується у вузькому значенні як «природні неорганічні», що є даниною традиції подібного слововжитку, хоча в широкому розумінні воно охоплює, крім неорганічних, також системи біологічні та соціальні. До фізичних систем відносяться всі системи неживої природи, в тому числі і складні технічні системи, створені людиною. Це, зокрема, геологічні, тектонічні, механічні, електричні, оптичні, термодинамічні, гідротехнічні, модерні, хімічні. Вони можуть мати різний ступінь складності та інформаційної забезпеченості, але суттєвою їх особливістю є достатньо високий (в порівнянні з рештою типів) ступінь детермінованості, що дозволяє застосовувати при їх вивченні кількісні методи аналізу та на основі достовірного прогнозу спрямовувати їх розвиток.

Специфікою біологічних і соціальних систем є те, що вони являють собою особливий вид *відкритої* системи. Якщо фізична система взагалі може бути як відкритою, так і замкненою, то біологічним та соціальним системам притаманна властивість відкритості, тобто особливого роду відносин з середовищем. В будь-якому іншому відношенні з оточенням ці системи існувати не можуть. Біологічні і соціальні системи протистоять як деяка єдність, яку називають світом органічних систем.

Соціальні системи незалежно від їх масштабності, як правило, являють собою складні та надскладні утворення, мають змішаний (детерміновано-стохастичний) характер детермінованості та вирізняються відносно повною кількісною інформаційною забезпеченістю, що дозволяє з достатньою мірою прогнозувати їх розвиток.

Біологічним системам властивий вищий рівень організованості в порівнянні з фізичними системами. Вони характеризуються такими властивостями, як саморегуляція (самоорганізація), здатністю до само відтворення та самовідновлення, циклічністю, адаптаційністю на явність зворотних зв'язків. У той же час для багатьох видів біологічних систем властивий стохастичний характер поведінки.

Особливим, своєрідним типом систем є *змішані* системи, до складу яких входять елементи з різною змістовно-природною сутністю. В переважній більшості випадків це не онтологічні, а гносеологічні системи, тобто такі, що «сконструйовані» в свідомості людини. Таке конструювання здійснюється з пізнавально-конструктивною метою для аналізу складних соціальних, економічних, демографічних процесів і явищ, які де термінуються в реальності багатьма різноякісними факторами. Прикладом таких систем можуть бути біосоціальні, біоелектронні, соціоприродні, суспільно-екологічні, територіальні системи. Головна особливість їх складу — наявність в системі різноякісних за природною сутністю, а отже, і за функціями елементів. Це значною мірою зумовлює стохастичний характер їх поведінки.

Для прикладу можна розглянути галузеву територіально-виробничу систему. В реальній дійсності вона не існує автономно, а лише в складі господарської системи. Але з метою детального вивчення її уявно виділяють (ідеалізують) зі складу господарської системи. Потім її уявляють у вигляді виробничої, природно-ресурсної, працересурсної, споживчої та організаційно-управлінської підсистем. А зовнішнім середовищем цієї системи в даному випадку виступають інші галузі господарської системи, транспортна мережа, система розселення і т. ін.

Таким чином, проблеми класифікації систем є досить складними як в науковому, так і в практичному розумінні. Складність класифікації обумовлюється складністю реальної дійсності та величезною різноманітністю зв'язків у ній. Створити єдину класифікацію систем, що відображала б всю їх різноманітність, очевидно, неможливо, та й ставити таке завдання недоцільно і науково некоректно. В кожному

конкретному випадку дослідник повинен застосовувати таку класифікацію, яка зумовлюється метою дослідження та найбільш сприяє досягненню цієї мети.

Запитання для самоконтролю

1. *Яке значення для вивчення систем мають типізація та класифікація ?*
2. *Які головні ознаки покладають в основу класифікації систем?*
3. *Назвіть відомі Вам підходи до класифікації систем.*
4. *Поясніть класифікацію систем за генетичною ознакою.*
5. *Назвіть суттєві особливості (відмінності) біологічних і соціальних систем.*
6. *Поясніть специфіку систем змішаного типу.*

Розділ 10. ТЕРИТОРІАЛЬНІ СИСТЕМИ

10.1. Сутність та особливості функціонування

Особливим видом систем є територіальні системи (ТС), що являють собою взаємозв'язану сукупність матеріальних об'єктів в умовах цілісної (відносно компактної) території. В онтологічному відношенні - це системи, до складу яких входять різні за своєю змістовною якістю об'єкти, які одночасно є елементами неживої природи, біоти та систем соціального порядку. Головною передумовою утворення таких систем є об'єднуюча роль території, на якій розташовані (локалізовані) ці різноякісні об'єкти. В змістовному розумінні їх доцільно називати територіальними природно — господарсько — демографічними системами, оскільки елементи трьох різних якостей — природної, господарської (виробничої) та демографічної (людської) — утворюють ці системи. В такому розумінні вони виступають як інтегральні територіальні системи. Однак з метою поглибленого, деталізованого вивчення окремих складових інтегральних територіальних систем виділяють їх гносеологічні складові: природно-територіальні, територіально-виробничі, демографічні, соціоекологічні.

Територіальні системи, або геосистеми — це особливий клас «земних систем», який націлений на дослідження просторової організації природних, соціальних, економічних компонентів географічної оболонки. Провідну роль у вивченні територіальних систем відіграє географічна наука, загальним об'єктом вивчення якої і є геосистеми. Виділяються територіальні соціально-економічні системи, територіальні суспільно-географічні системи, територіальні природно-ресурсні системи, геоекологічні системи, гідро екологічні системи тощо.

Таким чином, під ТС слід розуміти закономірний взаємозв'язок різноякісних видів та об'єктів людської діяльності в умовах цілісної території, що функціонально зорієнтована на забезпечення потреб конкретної спільності людей. В найбільш загальному вигляді ТС являє собою взаємозв'язану сукупність різноякісних за своєю субстанційною природою елементів (природних, демографічних, господарських), їх властивостей та відношень, яка в результаті взаємозв'язків утворює нову якість, що виявляється у відносній стійкості, територіальній та функціональній цілісності, особливому вияві закономірностей розвитку даної цілісності. Територіальна система зароджується та функціонує в результаті складних процесів взаємодії територіальних поєднань природних ресурсів, господарсько-територіальних систем, демографічних систем, які розглядаються як її субстанційні підсистеми (компоненти). Складові частини територіальної системи, в свою чергу, мають специфічну внутрішню структуру, тобто складаються з компонентів нижчого рангу, які також мають системний характер. Складність механізму функціонування ТС полягає в тому, що кожний її елемент має множину зв'язків різного характеру та інтенсивності як з елементами «своєї» системи, так і з елементами її середовища.

Суттєвою рисою ТС є функціональна зорієнтованість на забезпечення сприятливих умов життєдіяльності територіальної спільності людей, як головного її елемента. Це виявляється в тому, що природно-ресурсна та господарська підсистеми виконують функції створення матеріальної основи життєдіяльності і працюють безпосередньо на соціально-обслуговуючу та соціально-екологічну підсистеми, головною функцією яких є створення та постійне поліпшення відповідних умов життєдіяльності людей.

Територіальна система — це цілісний організм, якому притаманні якісно складніші процеси, ніж для його складових частин. Важливою ознакою цілісності є відносна стійкість, яка виявляється в більшій інтенсивності та тісноті взаємозв'язків елементів всередині системи в порівнянні зі зв'язками цих елементів із зовнішнім середовищем. Ці обставини об'єктивно створюють передумови для певного рівня відмежованості від зовнішнього середовища, що також характеризує цілісність системи.

Специфічною ознакою ТС є її територіальність. Це означає, що територія як складова частина системи є її матеріальною основою, фактором стабілізації. Територія в контексті суспільно-географічної системи розуміється як певна цілісна частина земної поверхні з притаманними їй природними та набутими внаслідок людської діяльності властивостями і ресурсами. Вона характеризується масштабами (площа, протяжність) та місцеположенням, як особливими видами ресурсів. Для всіх інших компонентів системи

територія слугує своєрідним базисом (в певній мірі внутрішнім середовищем системи), вона характеризує ці компоненти з точки зору територіальної впорядкованості, густоти, рівномірності розміщення.

Основою процесів територіального системоутворення є обмін речовиною, енергією та інформацією між елементами. Характер обміну залежить від якісної природи, функцій та рівнів організації взаємодіючих елементів. Якісна відмінність обмінних процесів в ТС полягає в перетворенні елементом сприйнятого «чужорідного» субстрату, наближенні його властивостей до своїх власних і, в результаті, створенні якісно нової речовини. Велику системоутворюючу роль відіграють функціональні (непрямі) зв'язки, що виникають на основі взаємодоповнення компонентів при виконанні ними спільної загальносистемної функції. Такі зв'язки є необхідним, атрибутивним фактором суспільно-географічного системоутворення.

Відповідно до складу, специфіки, внутрішньої природи елементів територіальної системи для неї властиві три головних види системоутворюючих зв'язків: матеріально-речовинні, міграційні, інформаційні.

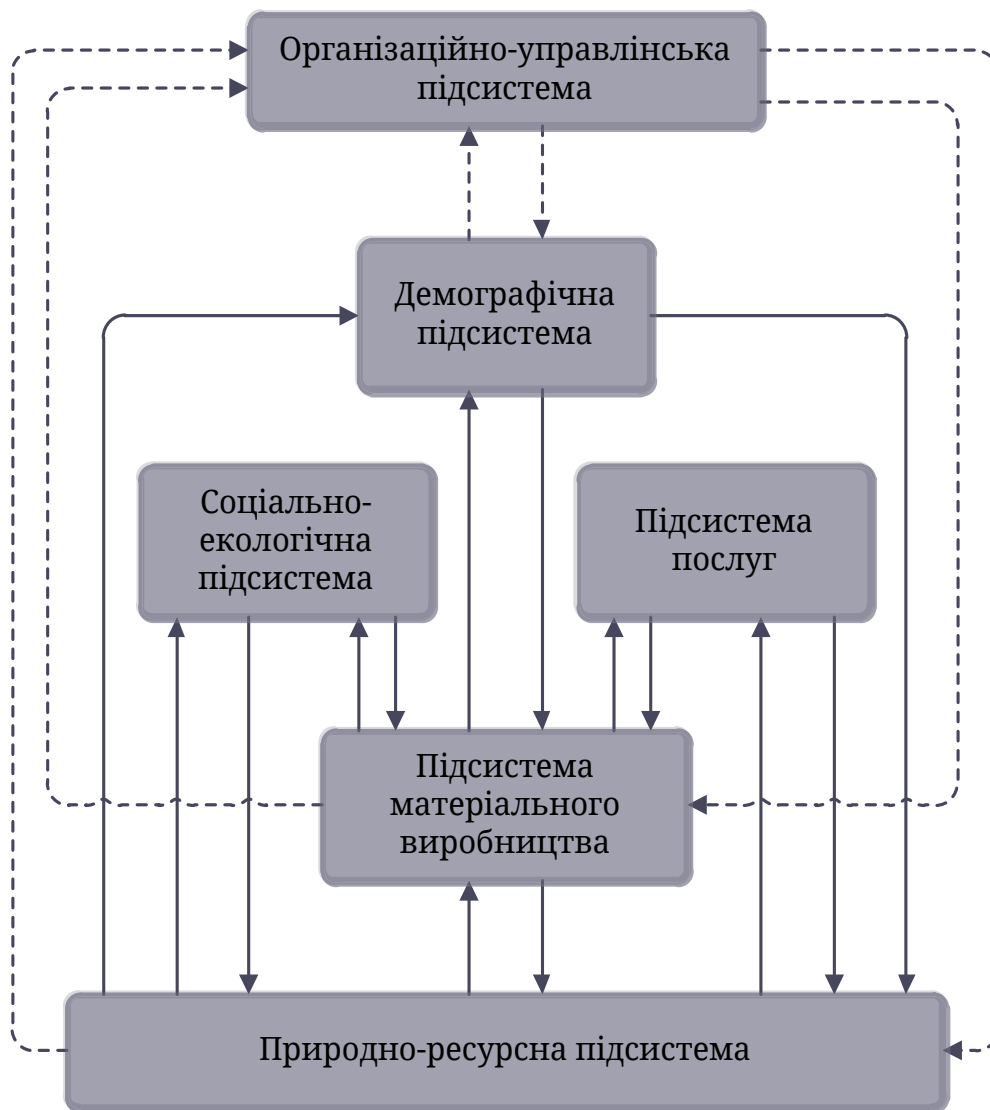
Матеріально-речовинні зв'язки виявляються в потоках (обміні) речовини, продуктів, товарів, основних та обігових засобів між елементами територіальної системи. Цей вид зв'язків поділяється на підвиди, групи відповідно до багатоманітного складу системи. Особливого поширення набувають технологічні, виробничо-економічні, торговельно-розподільчі, природно-ресурсні зв'язки.

Міграційні зв'язки виявляються у вигляді просторово-територіальних переміщень людей: постійні міграції (зі зміною постійного місця проживання) та маятникові міграції (до місця роботи, з культурно-побутовою метою). Ці зв'язки відображають соціальний бік формування територіальних систем. Інформаційні зв'язки — особливий вид зв'язків, в основі яких знаходиться обмін інформацією (відомості, повідомлення, знання) між елементами системи взагалі та між суб'єктом і об'єктом управління зокрема.

Важливу роль у формуванні територіальних систем відіграють опосередковані (дотичні) зв'язки, прикладом яких можуть бути використання спільних обслуговуючих виробництв (транспортних мереж, засобів) господарськими елементами, що належать до різних галузей, використання спільних виробничо-будівельних ділянок підприємствами тощо.

10.2. Структуризація територіальних систем

Структуризація, як виділення підсистем в складі територіальної системи, обумовлена багатоманітністю функцій і зв'язків, що властиві системі, а також необхідністю «спростити» надмірно складну структуру територіальної системи для цілей управління. Поняття складності системи, наприклад, пов'язане з можливістю гносеологічного розчленування системи на підсистеми меншої складності. Для визначення матеріального складу системи, тобто виділення підсистем, необхідно виходити з головної мети та функцій системи. Відповідно до цього у складі територіальної системи виділяються природно-ресурсна, матеріально-виробнича, соціально-екологічна, демографічна, соціально-обслуговуюча, організаційно-управлінська підсистеми (рис. 10.1).



Зв'язки: ————— Змістовні системоутворюючі
 - - - - - Організаційно-управлінські

Малюнок 10.1. Загальна схема компонентної структури територіальної системи

Природно-ресурсна підсистема відіграє специфічну та надзвичайно важливу роль природно-територіальної основи ТС. Вона являє собою взаємозв'язану територіальну сукупність природних компонентів (надра, рельєф, ґрунти, атмосферне повітря, поверхневі та підземні води, біота), що є ресурсами для різноманітних видів господарської та соціальної діяльності людини. Володіючи такими властивостями, як висока стохастичність, інерційність, здатність до самовідновлення та саморегуляції, високоентропійність, природно-ресурсна підсистема накладає істотний відбиток на характер функціонування та властивості ТС в цілому.

Підсистема матеріального виробництва є взаємозв'язаною сукупністю виробничих об'єктів, головними функціями яких є створення продукції, товарів (переважно на основі використання речовини та властивостей природно-ресурсної підсистеми), які в подальшому спрямовуються в соціальну або безпосередньо в демографічну підсистему. В традиційному розумінні вона складається з галузей промисловості, сільського господарства, транспорту та зв'язку, будівництва. Відзначаючись досить чіткою структурою, відносно високим ступенем впорядкованості, підсистема матеріального виробництва справляє відповідний організуючий та стабілізуючий вплив на функціонування більшості підсистем та ТС в цілому.

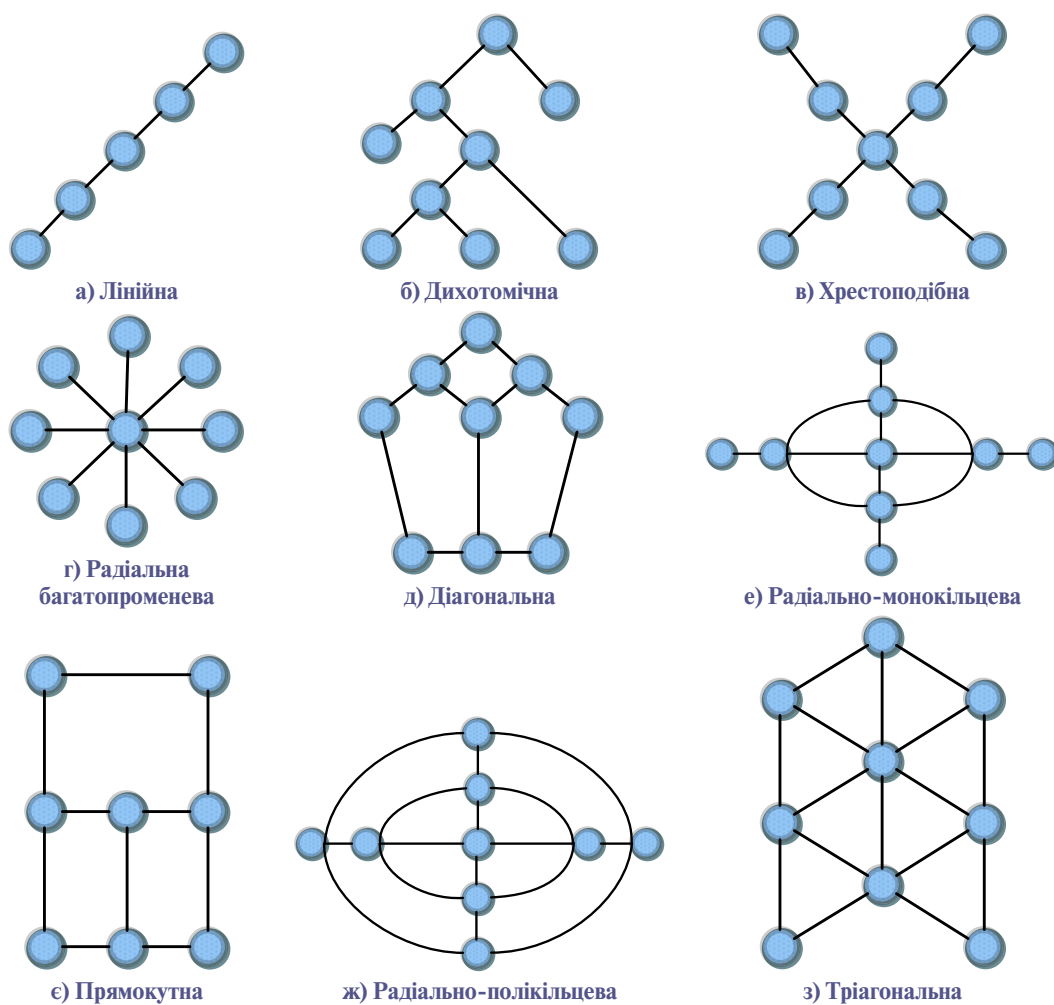
Підсистема послуг — це сукупність виробничих об'єктів та видів діяльності, що пов'язані з безпосереднім задоволенням потреб людини та створенням сприятливих умов її життєдіяльності. До її складу входять галузі сфери послуг (торгівля, побутове обслуговування людей, освіта та наукові установи, зв'язок та за-

соби інформації, охорона здоров'я, культура, житлово-комунальне господарство, фізична культура і спорт, фінансово-кредитні установи, адміністративні органи). Ця підсистема відіграє роль своєрідної сполучної ланки між базовими підсистемами (природно-ресурсна та матеріально-виробнича), з одного боку, та демографічною підсистемою — з іншого. Значення її полягає, насамперед, в тому, що вона виконує безпосередньо переважну більшість соціальних функцій ТС. В територіальній структурі сфери послуг досить чітко виділяються взаємно підпорядковані різнорівневі територіальні системи обслуговування населення: первинні—господарські—місцеві—низові—локальні—регіональні.

Соціально-екологічна підсистема являє собою взаємопов'язану сукупність елементів природного середовища певної території, що безпосередньо впливають (за рахунок своїх властивостей, специфічних ресурсів, певного діапазону параметрів) на умови життєдіяльності людини, з одного боку, та сприймають (амортизують, нейтралізують, переробляють, утилізують) матеріальні, енергетичні, конструктивні (переважно побічні) результати діяльності решти підсистем — з іншого.

Найважливішими її функціями, що мають чітко виражену соціальну спрямованість, є рекреаційна, екологічна, захисна.

Демогеографічна підсистема - це взаємозв'язані територіальні спільноти людей в межах відповідної території. За своєю роллю вона є головною ТС, її інтересам і потребам підпорядкована діяльність всієї решти підсистем. В її компонентній структурі функціонально виділяються групи людей допрацевдатного, працевдатного та післяпрацевдатного віку. Певний вплив на характер функціонування підсистеми має і статеву структуру населення.



Малюнок 10.2. Типи територіальних структур

У просторово-територіальному відношенні демогеографічна підсистема являє собою сукупність взаємопов'язаних поселень, як місць, де здійснюються основні види життєдіяльності. Ця підсистема найбільше відчуває на собі вплив решти підсистем, вона має безпосередні зв'язки з усіма підсистемами ТС. Синтезуючи їх сукупний вплив, володіючи відносно високою мобільністю, чутливістю та стійкістю, демогеографі-

чна підсистема має найбільш виражені «індикаторні» ознаки. Основними її функціями є демовідтворювальна, трудоворесурсна та споживча.

Організаційно-управлінська є специфічною підсистемою, яка виконує розпорядчі та впорядковуючі функції. Своєрідність її в тому, що вона є управляючою підсистемою (суб'єктом управління), яка цілеспрямовано формує склад, структуру, функції всіх інших підсистем, та в переважній мірі визначає такі загальносистемні властивості, як самоорганізація, саморегулювання та самоуправління. Вона являє собою сукупність органів управління галузевого та загальносистемного значення, які взаємодіють між собою та підпорядковані відповідним органам за межами системи. Організаційно-управлінська підсистема складається з елементів управлінської діяльності, що знаходяться в складі певних підсистем, з вузькоспеціалізованих елементів (виключно управлінських) та з елементів, що здійснюють функції спостереження, констатації, науково-проектної підготовки рішень.

Структура територіальної системи дозволяє практично чітко розмежувати сукупність завдань, які повинні вирішуватись в рамках кожної функціональної підсистеми та на кожному рівні ієрархії з урахуванням вимог всіх інших підсистем, та в чіткому узгодженні з рішеннями, що одержані в галузевих підсистемах.

Істотною характеристикою ТС, яка відображає їх змістовно-предметну сутність, є їх територіальна структура, як сукупність територіально-просторових відношень між елементами (компонентами, підсистемами) системи. Ця характеристика свідчить про очевидну необхідність класифікації ТС за формою їх територіальної структури, яка відображає рівень організованості, складність системи.

Найпростішою формою є лінійна структура, яка може характеризувати початковий стан розвитку системи з недостатньо інтенсивними та підпорядкованими територіальними відношеннями. Наступною формою є деревоподібна форма, яка виступає у *дихотомічному*, *хрестоподібному* та *радіально-променевому* видах. Більш розвинені форми пов'язані з виникненням ЦИКЛІВ, кільцевих структур, до них належать *полігональні*, *радіально-монокільцеві* та *прямокутні* форми. До найвищих форм територіальної структури, що характеризуються найповнішою реалізацією потенціалу систем та їх елементів, відносяться радіально-полікільцева та, особливо, тригональна форми (рис.10.2).

Важливою характеристикою ТС є їх ієрархічність. Суспільна географія, наприклад, розглядає світове господарство як глобальну систему, яка поділяється на макрорегіональні, національні, господарські системи окремих регіонів держави, адміністративно-територіальних одиниць, населених пунктів, окремих підприємств. Ієрархічність ТС зумовлює гаку їх властивість, як еквіпотенціальність — кожна система складається з певних елементів, але одночасно ця система входить до складу більшої системи, яка охоплює декілька таких «менших» систем. Ієрархічні рівні ТС загалом виглядають так: глобальний — макрорегіональний — національний — регіональний — локальний — низовий — місцевий-первинний.

10.3. Класифікація територіальних систем

Територіальні системи, як і системи взагалі, можна класифікувати за різними ознаками: складом, масштабами, складністю, функціями. Однією з таких ознак є функції ТС, як одна з її базових характеристик. За функціональною ознакою територіальні системи поділяють на промислові, аграрні, рекреаційні, транспортні, природно-заповідні. За приклад можна взяти класифікацію адміністративних районів України.

Так, низові адміністративні райони (НАР) України, як територіальні системи, поділяються за головною функцією — (виробничо-територіальною ознакою) на три типи: сільськогосподарський, приміський агропромисловий, приміський індустріальний [7]. У кожному типі за природно-територіальною ознакою виділено по чотири підтипи: степові, лісостепові, поліські, гірські. Наприклад, Велико-Багачанський район Полтавщини ідентифікується як сільськогосподарський лісостеповий, Криворізький район — приміський індустріальний степовий і т. ін. Узагальнені в табл. 10.1 результати типізації відображають параметри та особливості (насамперед зовнішнього характеру) кожного типу (підтипу) НАР.

Типові сільськогосподарські НАР характеризуються помітним переважанням сільського господарства в структурі виробничої діяльності, невисоким рівнем внутрірайонної агропромислової інтеграції.

Розташовані в периферійних частинах зони впливу великих і середніх міст вони є, як правило, складовою частиною сировинних зон агропромислових територіальних комплексів різних рівнів. Виробнича інфраструктура та соціальна сфера структурно та функціонально зорієнтовані насамперед на задоволення потреб сільськогосподарського населення. З компонентів природного середовища найбільшого антропогенного навантаження зазнають ґрунти та гідросфера: високий (понад 60%) рівень розораності земель, механічне та хімічне забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод. У межах районів даного типу досить чітко виділяються природно-господарські мікрорайони, на формування яких впливають переважно природні чинники (характер рельєфу, річкова мережа, залісеність території, відмінності в зволоженні). Характер виробничої діяльності істотно вплинув на інтегральну територіальну структуру районів цього типу, яка складається з 5-7 організаційно-господарських (кущових) внутрірайонних центрів і відповідної кількості суспільно-географічних систем мікрорівня, що сформувалися передусім на основі цих центрів. Внутрі-типові відмінності (формування підтипів) зумовлені впливом природно-географічного чинника (географічне положення, ґрунтово-кліматичні умови, рельєф, густота річкової мережі), що знайшов відповідне відображення в структурі та спеціалізації сільськогосподарського виробництва, які (за підтипами) в цілому узгоджуються зі схемою зональної спеціалізації сільського господарства України. Приміські агропромислові НАР розташовані в зоні безпосереднього впливу середніх і великих міст, які є основним чинником формування їхньої виробничої структури. Центрами таких районів є міста, в яких працюють не тільки потужні переробні підприємства, а й промислові підприємства інших галузей, що мають загальнодержавну спеціалізацію. Ці міста одночасно відіграють функції міжрайонних центрів розселення та обслуговування населення. Структура господарства відрізняється підвищеною питомою вагою промисловості, насамперед легкої та харчової (зазвичай понад 50%), підвищеним рівнем спеціалізації та товарності сільськогосподарського виробництва. На спеціалізацію останнього досить істотно впливає соціально-економічний чинник (потреби міста) при певному послабленні впливу природно-зонального чинника. Загальний рівень розвитку виробничої та соціальної інфраструктури вищий, а її повнота більша порівняно з НАР першого типу. Спостерігаються стійкі потоки маятникових трудових і соціальних міграцій населення. Зростає антропогенний вплив на природне середовище, яке істотніше відчуває сумарну дію сільського господарства, промисловості та транспорту (забруднення повітря, води, несільськогосподарське використання земель), комунального господарства.

У формуванні інтегральної територіальної структури спостерігається тенденція до моноцентризму при зменшенні кількості (до 1—3) та ролі організаційно-господарських центрів.

Таблиця 10.1. Узагальнені параметри низових адміністративних районів України

Тип (підтип) НАР	Кількість НАР даного типу	Площа території, тис. км ²	Чисельність населення, тис. жит.	Густина населення, жит./км ²	Індекс густоти населення, 1 Р	Густина сіл на 1 тис. км ²
I. Типові сільськогосподарські						
1.1. Степові	76	1,3-1,6	35-40	25-30	0,30-0,35	40-55
1.2. Лісостепові	89	0,8-1,2	40-60	35-45	0,35-0,50	50-65
1.3. Поліські	29	1,0-1,4	25-35	30-35	0,30-0,40	50-60
1.4. Гірські	20	0,6-0,8	60-90	60-70	0,70-0,90	30-50
II. Приміські агропромислові						
2.1. Степові	36	1,5-1,7	60-100	55-65	0,60-0,90	30-45
2.2. Лісостепові	67	1,0-1,2	45-60	30-60	0,40-0,60	50-70
2.3. Поліські	26	1,3-1,5	35-50	30-40	0,40-0,50	40-55
2.4. Гірські	15	1,0-2,0	50-90	55-80	0,65-0,90	50-70
III. Приміські індустріальні						

3.1. Степові	76	1,3-1,5	80-150	100-150	1,00-1,60	30-60
3.2. Лісостепові	34	1,2-1,8	100-150	60-150	0,70-2,00	60-90
3.3. Поліські	13	1,9-2,5	80-120	50-90	0,40-0,80	50-60
3.4. Гірські	7	0,8-1,2	50-80	70-100	0,60-1,00	40-70

Приміські індустріальні райони розташовані в зоні високого рівня промислового виробництва з досить високою територіальною концентрацією міських поселень, виробничих фондів. У структурі господарства істотно переважає промисловість, передусім важка. Основними системоутворюючими зв'язками тут виступають промислово-технологічні та промислово-інфраструктурні, які часто виходять за межі району. Такі райони є, як правило, складовими частинами промислових вузлів і агломерацій, внаслідок чого внутрішня цілісність їх господарських організмів невисока, відкритість господарства значно більша в порівнянні з районами перших двох типів. Домінуючий вплив на їхній розвиток справляють великі і крупні міста. Спеціалізація сільського господарства має чітко виявлену приміську спрямованість. Системи розселення та обслуговування населення мають велику різноманітність, яка зумовлена сумарним впливом різного масштабу міських поселень. Важливим системоутворюючим чинником є стійкі за масштабами, структурою та спрямованістю трудові маятникові міграції як внутрірайонні, так і міжрайонні. Антропогенний вплив на природу виявляється у механічному порушенні (добувна промисловість, будівництво), високих рівнях забруднення ландшафтів, великих масштабах відходів виробничого та невиробничого характеру. Елементами їх інтегральної територіальної структури є промислово-господарські пункти, центри, вузли.

З позицій суспільної географії НАР являють собою суспільно-географічні системи низового рівня. їх структура та ієрархія є типовим відображенням ТС взагалі. Тому доцільно розглянути ієрархію ТС на прикладі низових систем.

Елементарними інтегральними утвореннями з точки зору низової ТС доцільно вважати сільське поселення — суспільно-географічний пункт. Територіальна структура низової ТС складається з двох видів утворень: дискретних та континуальних (площинних, розосереджених). Ієрархію дискретних елементів можна уявити у вигляді відповідної підпорядкованості суспільно-географічних центрів: місцевий — первинний — елементарний — суспільно-географічний пункт. Площинні елементи являють собою суспільно-географічні системи, що сформувались навколо відповідного рівня центрів: місцева — первинна — елементарна. До континуальних форм територіальної організації відносяться територіально-компонентні, між компонентні та інтегрально-територіальні системи елементарного, первинного рівнів.

Компонентно-територіальні утворення є вираженням територіальної взаємодії об'єктів (елементів), що відносяться до однієї підсистеми низової ТС, тобто, взаємодії між відносно однорідними за змістом (одно якісними) елементами. їх можна визначити як територіальну сукупність взаємопов'язаних підприємств або центрів однієї підсистеми. Прикладом таких утворень є виробничо-територіальні системи, виробничо-територіальні типи сільгосп підприємств, системи розселення, територіальні системи обслуговування населення, територіальні поєднання природних ресурсів, промислові пункти, центри торговельного обслуговування населення, центри розселення тощо.

Якісно своєрідним видом структурних утворень в складі ТС є між компонентні підсистеми, які виникають на основі взаємодії декількох компонентів (виробництва, галузей, видів діяльності), що належать, як правило, до різних підсистем (або галузей господарської підсистеми) першого порядку. Зміст такої взаємодії виявляється в певних видах зв'язків між названими компонентами: виробничо-технологічних, виробничо-обслуговуючих, функціонально-територіальних, виробничо-територіальних, організаційно-управлінських. У межах ТС помітного вияву набули такі види між компонентних систем: агропромислові, індустріально-будівельні, природно-рекреаційні, демосоціоекологічні.

Інтегрально-територіальні утворення — це територіально цілісні частини ТС, що являють собою закономірний взаємообумовлений зв'язок елементів, фактично вони є територіальними системами нижчого рівня в складі певної ТС. Основними рівнями інтегрально-територіальних утворень є місцеві (кушові), пер-

винні, елементарні ТС, ядрами утворення яких є центри (населені пункти) відповідних рівнів — місцеві, первинні, елементарні та суспільно-географічні пункти (рядові поселення).

Найвищим рівнем інтегральної територіальної структури в низовій ТС є місцевий (кущовий). *Міццеві підсистеми* є своєрідною зменшеною територіально-компонентною «проекцією» низової системи. Вони формуються на основі функціонально розвинутих поселень — кущових центрів. За масштабами вони включають територію декількох сільгосп підприємств. У межах низової ТС виділяються 5—7 місцевих ТС. В основі їх формування лежать соціально-географічні зв'язки (задоволення попиту людей на різноманітні послуги соціального характеру), матеріальним вираженням таких зв'язків є культурно-побутові поїздки людей.

Первинні ТС являють собою триєдину (природно-господарсько-демографічну) єдність у межах території, що відповідає масштабам сільськогосподарського підприємства. Їх каркас становлять відповідні («господарські») системи розселення, а цілісність забезпечується, насамперед, в результаті виробничих та адміністративно-управлінських зв'язків.

Елементарні ТС формуються на основі «внутрігосподарських» систем розселення і за масштабами відповідають частині території сільгосп підприємства (дільниця, бригада) В їх складі налічується 2—3 рядових поселення, які тяжіють до внутрігосподарського центру. Головними системоутворюючими зв'язками є трудові та соціально-обслуговуючі.

Суспільно-географічні пункти являють собою рядові поселення, людність яких становить до 200 жителів. Вони виконують переважно соціальні, екстичні та виробничі функції.

10.4. Особливості дослідження

Внутрішній зміст, структура, властивості ТС зумовлюють відповідну специфіку застосування методів їх дослідження. Вони мають бути спрямовані на розкриття суті системи, пояснення механізму її функціонування, виявлення істотних залежностей (взаємозв'язків) та співвідношень між компонентами, обґрунтування стійких тенденцій (траєкторій) її еволюції.

Таке розуміння змісту та завдань дослідження передбачає застосування сукупності взаємозв'язаних методів. Тобто, необхідно застосувати таку гносеологічну схему методів дослідження, яка, по-перше, дала б можливості пізнати «технологію» онтологічних системоутворюючих процесів, та, по-друге, адекватно відображала б структуру та істотні системні властивості об'єкта дослідження. В цій схемі за цільовим призначенням виділяються аналітичні, аналітично-синтетичні та інтегрально-синтетичні групи методів, а за внутрішнім змістом — загальнонаукові методи, методи суміжних наук та специфічні географічні методи. Взаємозв'язок методів полягає в певній послідовності їх застосування, у використанні результатів одного або кількох аналітичних методів в інтегрально-синтетичному методі, в порівнянні результатів, одержаних різними методами.

Потрібно зауважити, що строга послідовність (черговість) застосування певних методів безпосередньо в процесі дослідження далеко не завжди витримується тому, що вона не завжди має сенс з огляду на складність структури об'єкта та взаємопроникненість (або суперечливість) суспільно-географічних процесів. Тому наведена схема відіграє роль загальної принципової схеми, яка конкретизується та модифікується у вигляді окремих методик, виходячи з мети та специфіки дослідження конкретного процесу. В такому розумінні найбільш широкого застосування в дослідженні ТС набувають наступні методи: балансові, кореляційні, картографічні, географо-математичні, виробничо-географічних циклів та районування.

Головне завдання *балансового* методу полягає в дослідженні кількісних співвідношень між складовими частинами ТС. Він дає змогу виявити (пояснити) певні залежності у взаємодії компонентів, диспропорції їх взаємного функціонування та обґрунтувати напрями їх майбутнього розвитку. В дослідженні ТС найдоцільнішим є застосування наступних видів балансових розрахунків.

Загальносистемний баланс — показує кількісні співвідношення між підсистемами першого порядку ТС за найбільш загальними показниками (параметрами), що спостерігаються на «виходах» цих підсистем і відображають їх загальносистемні функції. Такі баланси з певною мірою умовності можна поділити на

компонентні (характеризують співвідношення між складовими функціонально-компонентної структури: природа—виробництво—соціальна сфера—населення) та територіальні (співвідношення між елементами інтегральної територіальної структури).

Міжкомпонентний баланс відображає співвідношення між двома (або кількома) компонентами, які об'єднуються виконанням спільної функції. Прикладом в такому розумінні можуть бути баланси агропромислового виробництва, рекреаційного, лісопромислового, будівельного комплексів.

Внутрікомпонентний баланс використовується для вивчення співвідношень між частинами (елементами) певної (однієї) підсистеми або компонента ТС. До них належать баланси природних ресурсів, виробничих потужностей, матеріальних ресурсів і т. ін.

Територіально-компонентні баланси відображають співвідношення між елементами компонентно (галузевих)-територіальних підсистем. Це можуть бути баланси розподілу капіталовкладення в розвиток торговельної мережі, співвідношення між обсягами продукції різних виробничо-територіальних типів сільгосп підприємств, співвідношення між однаковими віковими групами населення в різних системах розселення, співвідношення між обсягами втрати земель в різних агро-ландшафтах і т. ін.

Своєрідним видом є динамічні баланси, що характеризують співвідношення в темпах розвитку територій або галузей (сфер) ТС.

Кореляційний аналіз використовується для дослідження взаємозалежності параметрів (ознак, показників), які характеризуються не функціональною (випадковою) залежністю та мають нормальний багатомірний розподіл. З допомогою цього методу оцінюються множини параметрів певних явищ (процесів), визначаються множинні та часткові коефіцієнти кореляції, перевіряється значущість впливу окремих факторів, виявляються структурні залежності, будуються лінійні рівняння регресії. Він є основою для здійснення компонентного, факторного, кластерного аналізу. Особливо ефективним є застосування цього методу для дослідження процесів внутрікомпонентної та міжкомпонентної взаємодії: демографічних, екістичних, природно-екологічних параметрів. Встановлені на основі цього методу структурні та просторово-часові залежності в подальшому використовуються для прогнозування.

Метод *районування* полягає в поділі території на відносно цілісні частини за певними ознаками. Цей метод дозволяє виявити територіальну диференціацію процесів, встановити тенденції (залежності) в просторово-часовому розвитку елементів, обґрунтувати управлінські рішення (їх територіальний зміст). Для дослідження ТС доцільно застосувати інтегральне, галузеве та спеціальне районування території.

Інтегральне районування застосовується з метою виявлення цілісних (в природно-господарському, демографо-екістичному та соціальному розумінні) територій в межах ТС. Основою для такого виділення мають бути характеристики систем розселення, структура виробничої діяльності, рівень розвитку соціальної сфери, природно-екологічні умови, адміністративні межі. Виділені на основі такого підходу території являють собою територіальні підсистеми першого порядку в структурі ТС.

Галузеве (компонентне) районування застосовується для виявлення та пояснення територіальної диференціації в функціонуванні (розвитку) окремих компонентів (галузей) ТС. Найбільш поширеними є наступні види районування: демографічне, природно-ресурсне, інтегрально-екологічне, сільськогосподарське, соціально-географічне.

Спеціальне районування застосовується для вивчення територіального вияву взаємодії двох або кількох компонентів ТС. Воно дає змогу виявити певні структурні та просторово-часові залежності між цими компонентами. До таких видів районування належать: агро-кліматичне, агро-ландшафтне, компонентно-екологічне, еколого-демографічне, демосоціальне тощо.

Картографічний метод володіє потужним аналітичним та синтетичним потенціалом. Його зміст полягає в складанні карт, які сприяють вирішенню таких основних завдань:

- просторової ілюстрації досліджуваних явищ і процесів;
- пізнання суті і механізмів окремих (часткових) процесів;

- виявлення та пізнання просторово-часових залежностей і закономірностей суспільно-географічних процесів;
- виявлення елементів територіальної структури та факторів їх формування;
- пізнання суті територіальних пропорцій та їх оптимізація;
- виявлення типових властивостей та специфічних рис ТС;
- обґрунтування доцільного розвитку ТС в цілому та окремих її компонентів у майбутньому.

Будь-яка карта за своїм змістом є своєрідною моделлю ТС або її частини чи процесу. Картографічні моделі відображують одночасно механізми процесів та їх результати, даючи змогу, таким чином, значно зменшити трудомісткість досліджень, підвищивши при цьому їх ефективність. Тому застосування картографічного методу є необхідним елементом всіх етапів дослідження ТС.

У найбільш загальних рисах процедура застосування картографічного методу повинна включати такі операції: а) визначення цілей, які повинні бути досягнуті в результаті картографічного моделювання, та відповідних вимог до карт; б) складання переліку карт, які б відображували основний зміст ТС та аспекти її структури; в) визначення тематики, змісту та показників кожної карти; г) підготовка інформаційних матеріалів та власне складання карт; д) розробка методичних прийомів використання картографічних моделей в наукових дослідженнях та практиці управління.

Застосування картографічного методу повинне обов'язково враховувати вид, тип, специфіку конкретної ТС, що в підсумку буде визначати зміст та тематику карт.

Зміст методів *географо-математичного* моделювання полягає в абстрагованому представленні суспільно-географічних процесів, зв'язків, залежностей у вигляді математичних формул (рівнянь) та їх систем. Їх застосування дозволяє вирішити такі завдання: кількісно оцінити ефективність розвитку окремих галузей та їх взаємодії; оцінити ефективність циклів ресурсовикористання (споживання); дати системну оцінку впливу факторів розвитку ТС; виявити просторово-часові тенденції динаміки зміни параметрів ТС та окремих її компонентів.

При вивченні ТС найбільш ефективним є застосування оптимізаційних моделей, які використовуються для оптимізації виробничої структури сільгосппідприємств, транспортних перевезень, систем обслуговування населення, балансів використання природних ресурсів.

Метод *виробничо-географічних* циклів базується на основі вивчення (спостереження) стійких зв'язків в ТС, які виражаються в потоках (обміні) речовини та інформації між її елементами. На основі аналізу таких потоків виділяються цілісні технологічно пов'язані функціональні блоки-цикли або в межах одного компонента (підсистеми), або на між компонентному рівні. Цей метод (підхід) використовує елементи балансового, картографічного та інших методів. Його застосовують для вивчення складних внутрісистемних утворень, агропромислових, будівельно-індустріальних, господарсько-рекреаційних, виробничо-екологічних, демонологічних циклів. Саме на основі цього підходу вивчаються «технології» системоутворюючих процесів, виявляються резерви їх вдосконалення та оптимізації.

Запитання для самоконтролю

1. У чому специфіка змісту ТС?
2. До якого типу та класу можна віднести ТС?
3. Поясніть механізм системоутворюючих зв'язків у ТС.
4. За якими ознаками здійснюють класифікацію (типізацію) ТС?
5. Які елементи територіальної структури є ізоморфними для ТС?
6. У чому полягає специфіка транспортних систем як різновиду ТС?
7. Охарактеризуйте основні види конфігурації ТС.
8. Які методи дослідження найбільш адекватні специфіці ТС?
9. Поясніть взаємодію методів дослідження ТС.

Розділ 11.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

11.1. Визначення системного аналізу

В наукових і науково-прикладних розвідках системний аналіз нерідко ототожнюється з системним підходом. Однак за своєю змістовною суттю вони мають відмінності. Сутність системного підходу полягає у вираженні на рівні *спеціальної методології* принципів, понять і методів системних досліджень, а системний аналіз розробляє теоретико-методологічні *засоби* таких досліджень, конструює системи та управління системами, що містять людський фактор.

Поки ще немає єдиної точки зору щодо змісту поняття «системний аналіз» та області його застосування. Є достатні підстави для виділення принаймні чотирьох відмінних між собою трактувань системного аналізу.

Одне з таких трактувань розглядає системний аналіз як один з конкретних методів вибору найкращого вирішення проблеми (задачі), ототожнюючи його, наприклад, з вузькоекономічними проблемами (аналіз залежності між собівартістю та ефективністю виробництва). Таке трактування відображає прагнення узагальнити найбільш доцільні та ефективні засоби будь-якого аналізу взагалі (наприклад, політичного, економічного, управлінського), визначити загальні закономірності його здійснення. З таких позицій системний аналіз постає швидше у вигляді «аналізу систем», оскільки акцент робиться на *об'єкті вивчення* (на системі), а не на *системності вивчення* цього об'єкта. Бо саме системність вивчення передбачає врахування всіх суттєвих факторів і взаємозв'язків, що впливають на вирішення проблеми, використання певної логічної послідовності пошуку найкращого рішення. В багатьох же роботах, що висвітлюють ті чи інші аспекти системного аналізу, саме термін «аналіз» вживається разом з такими ознаками, як кількісний, економічний, ресурсний, а термін «системний аналіз» як такий застосовується значно рідше.

Згідно з іншим трактуванням, системний аналіз — це конкретний метод пізнання (протилежність синтезу). Тобто вданому випадку це не системний аналіз, а аналіз взагалі, який, як відомо, може здійснюватися і без використання положень системного підходу.

Третя точка зору подає системний аналіз як будь-який аналіз будь-яких систем, аналіз систем на основі системної методології. При цьому не конкретизується сфера його застосування та методи здійснення.

Відповідно до четвертого трактування системний аналіз — це конкретний теоретико-прикладний напрям дослідження, що базується на системній методології та має певні принципи, методи і сферу застосування.

Близьким до цього є ототожнення системного аналізу з аналітичним вивченням системи, при цьому до аналітичних методів відносяться традиційні розділи математики (лінійна алгебра, системи диференціальних рівнянь) та фізики (механіка, електромагнітодинаміка, теорія коливань і т. ін).

Загалом можна виділити декілька підходів щодо розуміння системного аналізу:

- ототожнення системного аналізу з технологією наукового дослідження взагалі;
- звуження системного аналізу до системного конструювання, тобто фактично до системотехніки;
- зведення системного аналізу до однієї з його складових, наприклад до структурно-функціонального аналізу;
- ототожнення системного аналізу з системним підходом;
- розуміння системного аналізу лише як сукупності математичних методів вирішення задач системного характеру;
- зведення сутності системного аналізу до вирішення задач управління та прийняття рішень дуже складних проблем.

Розглядаючи наведені підходи до визначення системного аналізу, необхідно пам'ятати, що навіть давно усталену (традиційно визнану) наукову дисципліну важко визначити так, щоб задовольнити всі вимоги

та відобразити її багатогранний зміст і специфіку. Тим більш нелегко зробити це стосовно нового наукового напрямку.

Загалом *системний аналіз можна визначити як сукупність певних наукових методів та практичних засобів вирішення різноманітних проблем, що виникають у всіх сферах цілеспрямованої діяльності людини, на основі системного підходу та представлення об'єкта дослідження у вигляді системи*. Характерною для системного аналізу є та обставина, що пошук найкращого вирішення проблеми починається з визначення та впорядкування цілей діяльності системи, в процесі функціонування якої виникає певна проблема. При цьому необхідно встановити відповідність між цими цілями, з одного боку, можливими шляхами вирішення проблем — з другого, та потрібними для вирішення ресурсами — з третього боку.

Системний аналіз відзначається впорядкованим, логічно обґрунтованим підходом до вивчення проблем та використанням існуючих методів їх вирішення, які є або можуть бути створені в рамках інших наук. Системний аналіз призначений для вирішення в першу чергу *слабоструктуризованих проблем*, тобто таких проблем, в яких склад елементів і взаємозв'язків встановлений тільки частково (неповно), таких задач, які виникають, як правило, в ситуаціях з наявними факторами невизначеності та з елементами, що не піддаються в повній мірі формалізації, тобто не перекладаються практично на мову математичних знаків і залежностей.

Одне із завдань системного аналізу полягає у такому розкритті змісту проблем, які постають перед управлінцем (менеджером), що приймає рішення, щоб стали очевидними всі наслідки рішень та ці наслідки можливо було б врахувати у своїх діях. Системний аналіз допомагає відповідальній за прийняття рішення особі більш визначено і виважено підійти до оцінки можливих варіантів дій та вибрати найкращий з них з урахуванням додаткових, неформалізованих факторів й обставин, які можуть бути невідомими фахівцям, що готують рішення.

В процесі системного аналізу об'єкт повинен розглядатися як система. У вигляді такої системи може бути матеріальний об'єкт, явище, процес, проблема. Але в кожному об'єкті необхідно відображати суттєві ознаки системності, до яких, зокрема, належать:

- склад та структура системи;
- характер організації та рівень організованості;
- функціонування: розвиток, еволюція, траєкторія, детермінованість, механізм;
- функції: види, взаємодія, узгодженість;
- взаємодія з середовищем: відкритість, рівноважність, адаптація;
- мета розвитку системи: ієрархія цілей, цілеспрямованість, засоби досягнення цілей.

Для детальнішого розгляду системного аналізу необхідно звернутися до визначення методології науки взагалі. *Методологія науки* дає характеристику таких компонентів наукового дослідження як об'єкт, предмет, мета, завдання, засоби і методи, методика (послідовність дослідження в процесі вирішення задачі). Для початку необхідно визначити змістовну сутність об'єкта системного аналізу, його специфіку та місце серед інших споріднених наукових напрямів. *Об'єкт системного аналізу* в теоретичному аспекті — *це процес підготовки і прийняття рішення*; в прикладному аспекті — різноманітні конкретні проблеми, що виникають при створенні і функціонуванні систем. В теоретичному аспекті це означає дотримання та реалізацію наступних положень.

1. Формулювання загальних закономірностей здійснення досліджень, спрямованих на пошук найкращого вирішення різноманітних проблем на основі системного підходу (загальна логіка, етапи, послідовність, взаємозв'язок між етапами).
2. Застосування конкретних наукових методів дослідження для виявлення цілей, їх ранжування, дезагрегації проблем (систем) на складові елементи, визначення взаємозв'язків як всередині системи, так і системи з оточуючим середовищем.
3. Обґрунтування принципів інтегрування різних методів, прийомів дослідження (математичних та евристичних), створених як в рамках системного аналізу, так і в рамках інших наукових напрямів і дисциплін, в струнку взаємообумовлену сукупність методів системного аналізу.

В прикладному плані системний аналіз обґрунтовує рекомендації, конкретні шляхи, засоби і ресурси створення принципово нових або вдосконалення існуючих систем. Рекомендації стосовно вдосконалення існуючих систем зачіпають різноманітні типи проблем, зокрема ліквідація небажаних ситуацій (наприклад, збільшення безробіття, зниження продуктивності праці), що зумовлені змінами як зовнішнього середовища, так і внутрішніх процесів у системі.

Потрібно підкреслити, що в такому розумінні об'єкт системного аналізу є одночасно об'єктом цілої низки інших наукових дисциплін, як загальнотеоретичних, так і прикладних. Достатньо обґрунтована думка про те, що чітко і однозначно виділити предмет системного аналізу, тобто віднести системний аналіз до певної категорії наук, не уявляється можливим в теоретичному розумінні, оскільки вирішенням названих проблем займається багато інших наук і наукових напрямків. У практично-прикладному розумінні не виникає істотної необхідності в такому чіткому розмежуванні, оскільки важливим є сам факт ефективного вирішення конкретної задачі сукупністю різних методів, а не методами якої однієї науки вирішена задача.

На відміну від багатьох наук, головною метою яких є відкриття і формулювання об'єктивних законів і закономірностей, що властиві об'єкту вивчення, системний аналіз спрямований переважно на розробку конкретних рекомендацій, в тому числі і на основі використання результатів «теоретичних» наук з прикладною метою. Цілі системного аналізу, на противагу цілям «чистої» науки, в першу чергу полягають у виробленні рекомендацій, чи в крайньому разі пропозицій з вибору напрямку дій, а не просто у виявленні проблеми і передбаченні її розвитку. Таким чином, системний аналіз ближчий до практично-прикладних дисциплін, ніж до «чистої» науки, яка відкриває нові явища.

Але від цих дисциплін системний аналіз відрізняється більш обмеженими можливостями використання математичних методів та кількісно визначеної інформації, що базується на розрахунках та реальних вимірюваннях, а також значною мірою на евристичних методах.

Все це дає підстави говорити про подвійну природу системного аналізу: з одного боку, це теоретичний і прикладний напрям, що використовує з практичною метою досягнення багатьох наук, як точних, так і гуманітарних (соціологія), а з іншого боку — це своєрідне мистецтво. В ньому поєднуються і об'єктивні, і суб'єктивні моменти, до того ж останні властиві як власне процесу системного аналізу, так і процесу прийняття рішення на основі його результатів. В останньому випадкові індивідуальні особливості осіб, що приймають рішення (посадові, професійні, вікові, що обумовлені творчими навичками та життєвим досвідом), безпосередньо і суттєво впливають на остаточне вирішення проблеми. Таким чином, *системний аналіз — це засіб наукового пізнання і практичного вирішення проблем на основі системної методології*. Він виконує роль своєрідного каркасу, який об'єднує сукупність різних методів, інформації, засобів для досягнення практичної мети — вирішення задачі, проблеми.

11.2. Особливості здійснення та напрями застосування

Системи конструюються в свідомості людини саме тоді, коли виникає проблемна ситуація, тобто суперечність між виникаючими потребами та відсутністю очевидних засобів для їх задоволення. Ця суперечність і породжує формулювання мети, яка потребує засобів для її досягнення. Система і є втіленням єдності мети і засобів, вона — засіб вирішення проблеми. Системний аналіз дозволяє розчленувати складну систему на елементи, складну задачу — на сукупність простих, виразити їх кількісно. Складна задача може бути зведена не просто до менш складних, а саме до таких, для вирішення яких вже існують відповідні методи. Всі задачі з певною умовністю можна поділити на добре структуризовані та слабоструктуризовані. До перших відносяться такі, в яких достатньо чітко виражені кількісні параметри, для їх вирішення системний аналіз застосовувати недоцільно, оскільки мають готові методи, в тому числі і математичні, вирішення. Слабоструктуризовані задачі відрізняються значним переважанням якісних параметрів, в окремих випадках кількісні характеристики можуть бути відсутніми. Для їх вирішення немає готових засобів і методів, саме системний аналіз дозволяє відшукати такі засоби.

Системний аналіз являє собою процес, тобто складається з послідовно взаємозв'язаних етапів, найважливішими серед яких є *аналіз і синтез*. Початковим етапом є аналіз — послідовне розчленування (умовний поділ) проблеми на часткові підпроблеми до тих пір, коли можливі вирішення кожної з цих підпроблем не стануть очевидними, наочними та вимірюваними. Аналіз — досить складний етап, особливо при

вивченні соціальних систем. Якщо відносно нескладно розчленувати технічну систему, оскільки її складові частини достатньо очевидні, то в соціальних системах поряд з формальними існує багато неформальних утворень і зв'язків, які чітко виділити і зафіксувати досить непросто. Тут часто потрібно здійснити багато другорядних, рутинних операцій, за якими іноді складно побачити суттєві, важливі операції, здійснення яких, наприклад, і забезпечує функціонування системи. Це вказує на необхідність чіткості та логічності мислення, вміння поєднувати формалізовані та евристичні прийоми.

Синтез являє собою об'єднання в єдину систему множини часткових рішень, які одержані в результаті аналізу та структурування проблеми (системи). В результаті синтезу часткові рішення взаємоузгоджуються, взаємодоповнюються і виступають як елементи вирішення проблеми в цілому. Саме синтез дозволяє використати результати, досягнуті на різних стадіях аналізу, побудувати модель вирішення, яка оптимізується та набуває форми управлінського рішення. Для того, щоб інтегрувати результати розчленування складної проблеми, трансформувати результати аналітичної та синтетичної роботи в практичне рішення, необхідно узгодити загальну мету із засобами її досягнення. Для систем соціального порядку така мета досить далека від засобів її досягнення та пов'язана з цими засобами цілою низкою непрямих, опосередкованих зв'язків. Такими опосередковувальними ланками є часткові цілі, які досягаються конкретно визначеними та відомими засобами, що є одночасно внеском у досягнення загальної цілі (мети). Декомпозиція, тобто розчленування головної мети на часткові цілі, і слугує засобами інтеграції, узгодження конкретних засобів із загальною метою. Одним з методів декомпозиції цілей є побудова «дерева цілей», що виступає як основа перетворення процесу вирішення складної задачі в системний, цілісний процес.

Здійснення системного аналізу передбачає наявність необхідного і достатнього обсягу інформації про сутність проблеми, її логічну структуру, зв'язки даної проблеми з іншими (зовнішніми) проблемами, наявність ресурсів для вирішення, фактори, що впливають при вирішенні, тощо. Багато перелічених інформаційних елементів не піддаються кількісній оцінці, тому врахувати їх можливо лише на основі знання, досвіду, інтуїції експертів, фахівців з даної та суміжних з нею проблем. Разом з тим системний аналіз слугує засобом впорядкування такої вихідної інформації, а також засобом одержання нової інформації про стан системи, тенденції її розвитку, альтернативні шляхи досягнення цілей, про можливі її стани в майбутньому.

В процесі системного аналізу застосовується специфічний науковий інструментарій, до якого входять неформальні евристичні методи (метод сценаріїв, метод експертних оцінок, діагностика); графічні методи (метод «дерева цілей», мережеві (сітьові) методи, матричні методи); кількісні методи (економічний аналіз, статистичні методи, морфологічний аналіз, метод агрегування змінних у комплексні фактори).

На всіх етапах системного аналізу застосовується метод моделювання, який виявляється в побудові кібернетичних моделей (засоби імітації системи — блок-схеми, таблиці, діаграми); економіко-математичних моделей, що описують стан і поведінку системи у випадку, коли є необхідна і достатня кількісна інформація (балансові матриці; оптимізаційні, ігрові, імітаційні моделі).

Для аналізу систем соціального порядку, в яких використовуються і перетворюються різноманітні ресурси, досить ефективно застосовується метод потокового моделювання. Типовими компонентами такої моделі є: вхід — обсяг ресурсів, що споживається реальною системою; вихід — обсяг створених системою продуктів та відходів, які утворюються в результаті перетворення «вхідних» ресурсів; обмеження — умови, в яких знаходиться система, що перетворює ресурси (цілі, обсяг ресурсів, терміни, структурні обмеження); зворотний зв'язок між входом і виходом, який дозволяє співставити результати перетворення ресурсів та мету їх перетворення, а при їх неспівпаданні скоригувати процес перетворення.

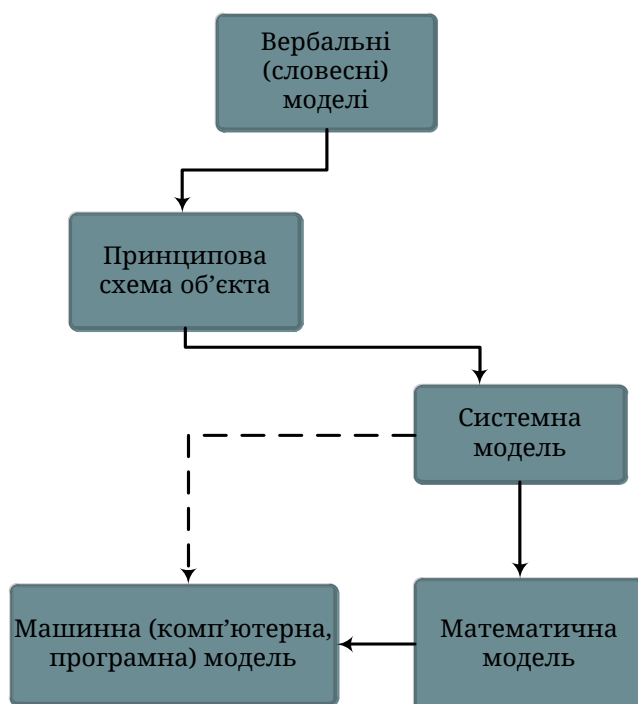
Застосування системного аналізу має надзвичайно широкі межі. Зокрема М.Месарович і Я.Тахакара вказують на такі напрями його застосування до вивчення складних систем [9].

1. Вивчення систем в умовах невизначеності. Дуже часто інформація про систему виявляється недостатньою для побудови її детальної математичної моделі. Разом з тим застосування загальної теорії систем дає змогу побудувати логічну модель, яка може в достатній мірі слугувати міцною основою для подальшої її формалізації та достатнього аналізу її поведінки.

2. Вивчення великомасштабних і складних систем. Складність опису системи, яка має багато змінних, може бути пов'язана з тим, яким чином описуються ці змінні та зв'язки між ними, або з тим, яка кількість деталей береться до уваги, навіть якщо не всі вони обов'язково відіграють першорядну роль для мети конкретного дослідження. В подібних випадках створюється менш структуризована модель, що спирається лише на ключові фактори, тобто модель загальної теорії систем теоретико-множинного типу, яка забезпечує можливість подальшого поглиблення аналізу. На такому рівні вирішується багато «структурних» питань, зокрема, декомпозиції, координації, субординації, ієрархії.
3. Структуризація системи. Структурні міркування відіграють першорядну роль як при аналізі, так і при синтезі різноманітних систем. Найбільш відповідальним (з точки зору правильності вирішення) етапом процесу створення моделі є вибір і обґрунтування структури досліджуваної системи. Тому вбачається недоцільним розпочинати дослідження відразу з побудови детальної математичної моделі ще до того, як будуть перевірені основні гіпотези та досягнуте глибоке розуміння механізму функціонування системи. Значно ефективнішим, особливо стосовно дослідження систем зі складною ієрархічною структурою, є виявлення основних підсистем та основних взаємозв'язків між ними, а потім уже перехід до детального моделювання механізмів функціонування систем нижчих рівнів (підсистем досліджуваної системи).

Загальна послідовність системного аналізу представлена на рис. 11.1, з якого видно, що моделі загальної теорії систем знаходяться між описом системи за допомогою її принципової схеми та її математичною моделлю. Стосовно складних систем моделі загальної теорії систем є необхідним етапом дослідження, бо саме в таких випадках розрив між принциповими схемами і детальними моделями занадто великий, що унеможливує продовження аналізу. Саме такою ланкою, що пов'язує ці етапи, і виступають загальні моделі теорії систем.

4. Чітке визначення понять та можливість міждисциплінарного обміну науковою інформацією. Загальна теорія систем створює «мову» для міждисциплінарного «спілкування» з метою обміну науковою інформацією, оскільки вона є досить загальною, щоб не вносити власних обмежень, і в той же час в силу своєї чіткості вона усуває можливість досить небезпечних різних тлумачень суті одного і того ж явища. В такому розумінні загальна теорія систем створює фундамент для застосування системного аналізу практично до будь-якої ситуації, явища чи процесу.
5. Уніфікація і побудова єдиної методологічної бази для більш вузьких розділів теорії систем. Ця проблема важлива в зв'язку з тим, що загальна теорія систем повинна розширювати своє практичне застосування, відігравати зростаючу роль в освіті, зокрема у вищій освіті, та слугувати фундаментом для наступної організації (впорядкування фактів і спостережень, що одержані в результаті широкого спектру системних досліджень.)



Малюнок 11.1. Послідовність системного аналізу

11.3. Системний аналіз та інші системні дисципліни

Системний аналіз та системний підхід — поняття досить близькі, але не тотожні, їх основою є діалектична логіка. Системний аналіз реалізує на практиці ідеї і принципи системного підходу, який не дає готового набору рецептів вирішення проблем, але кристалізує вміння правильно застосовувати спеціальні методи аналізу.

Загалом можна виділити декілька системних теорій (концепцій), які є вираженням (продовженням, конкретизацією) загальної теорії систем та безпосередньо впливають на формування системного аналізу. Серед них наступні:

- загальна теорія систем — виявлення загальних законів функціонування систем будь-якої природи;
- структуралізація — вчення про структури, їх формування та вивчення як основу системи;
- функціоналізм — вчення про функції, як механізм існування, самоорганізації та вдосконалення систем;
- системно-кібернетичні теорії — виявлення загальних законів управління на основі теорії систем (теорія інформації, теорія алгоритмів, теорія оптимального управління, формування «галузевих» кібернетик — економічної, технічної тощо);
- математичні теорії систем — математичний опис структури, функцій і стану системи на основі теорії множин, математичного програмування, теорії ймовірностей;
- синергетика — дослідження процесів самоорганізації в системах будь-якої природи.

Між різними напрямками системних досліджень не існує принципових відмінностей, а відповідно немає і чітких ліній розмежування. Разом з тим кожен напрям характеризується певними специфічними рисами. Так, загальноновизнаним є положення про те, що *дослідження операцій* — це наука, що займається розробкою та обґрунтуванням кількісно виражених рекомендацій, які необхідні для планування і організації операцій. Тобто це теорія і практика математичних моделей прийняття оптимальних рішень.

Системний аналіз на відміну від дослідження операцій в більшій мірі зосереджений на методології вирішення проблем, а не на використанні конкретних математичних методів. Фахівець з дослідження операцій застосовує методи математичного чи логічного аналізу в умовах, коли має чітке уявлення про те, що вважати «більш ефективною» роботою. Тобто системний аналіз визначає мету операцій та послідовність дій для її досягнення, що для дослідника операцій є вихідними умовами та обмеженнями в процесі розробки рекомендацій. Інколи підкреслюється, що співвідношення системного аналізу та дослідження операцій аналогічно співвідношенню стратегії і тактики.

Системотехніка досліджує методи синтезу та конструювання систем на основі дослідження функціонування окремих їх елементів. Досліджуються елементи, що виконують чітко визначені функції. Щоб створити систему із наперед заданими властивостями, із всієї сукупності вибираються саме ті елементи, які володіють потрібними характеристиками.

Таким чином, для системного аналізу властиво, з одного боку, наявність спільних для всього спектру системних досліджень рис. З іншого боку, системний аналіз має свої особливості, які дають підстави для виділення його із сукупності системних досліджень в якості самостійного теоретичного і прикладного напрямку.

Запитання для самоконтролю

1. Учому відмінність між системним аналізом і системним підходом?
2. Які існують трактовки щодо суті системного аналізу?
3. На яких загальнометодологічних положеннях базується системний аналіз?
4. Учому суть прийомів системного аналізу, (декомпозиція, синтез, моделювання)?
5. Які головні напрями застосування системного аналізу в наукових дослідженнях?
6. Які системні теорії найбільше впливають на системний аналіз?
7. Які суттєві характеристики системності, що відображаються в системному аналізі?

Розділ 12.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

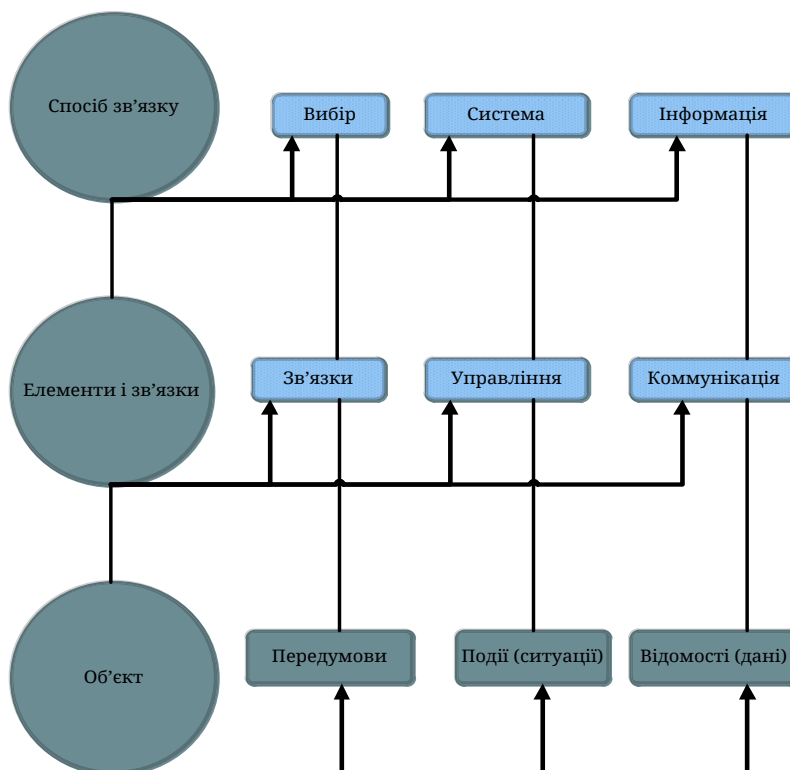
12.1. Основні поняття системного дослідження

Системне дослідження проблеми будь-якого характеру являє собою процедуру опису (характеристики) об'єкта як системи та спосіб його пізнання. Воно допомагає осмислити структуру, організацію, закономірності розвитку системи. Поняттєвий апарат такого дослідження є своєрідною міждисциплінарною основою для конкретних досліджень і слугує для впорядкування і спрощення розуміння суті явищ.

Достатньо повно зміст кожного окремого поняття системного дослідження може бути розкритий лише у взаємозв'язку з іншими поняттями. Для систематизації понять доцільно застосувати графічну схему їх взаємозв'язку (рис. 12.1). До базових (критеріальних) понять, навколо яких групується решта, слід віднести: «об'єкт (утворення)», «елементи і зв'язки (множина)» та «спосіб зв'язку (об'єднання)». Обирають ці критеріальні поняття з урахуванням тенденції *зменшення ступеня абстракції*. Так, якщо визначене стрижнева сукупність понять «подія — управління — система», то стає можливим визначити дві інші взаємозв'язані сукупності: «передумови — зв'язки — вибір» та «відомості — комунікація — інформація».

Критерії понять «об'єкт (утворення)» характеризуються найбільшим ступенем абстракції, «елементи і зв'язки (множина)» — меншим, а «спосіб взаємозв'язку (об'єднання)» — конкретністю. Аналогічний стан спостерігається і в поняттях — сукупностях по горизонталі: «події (ситуації) — передумови — відомості», «управління — зв'язки — комунікація», «система — вибір — інформація». Зв'язок цих понять діалектично заперечується: перше — другим, а друге — третім. Сутність усіх понять найбільш повно може бути розкрита по горизонталі (в рамках «своєї» сукупності) і по вертикалі (через діалектичне заперечення). Можливі й інші способи, наприклад, «перехресний: зв'язки — управління — система», «комунікація — управління — система», тощо.

У схемі під системою треба розуміти об'єкт (утворення), що містить елементи і зв'язки та характеризується способом зв'язку, що змінюється в часі та просторі. Інваріантною властивістю системи є її відносно стійкий спосіб внутрішніх зв'язків та відношень.



Малюнок 12.1. Схема взаємозв'язку понять системного дослідження (за Г. Бритченко)

Структура системи визначає її властивості. Від мінливостей властивостей залежить і мінливість самої структури. Структура істотним чином впливає на функції системи. Тому при аналізі навіть відносно простих об'єктів використовують поняття складної системи: з одного боку, досліджуються функції (все, що система робить, може робити, повинна робити), а з іншого — її будова (сукупність елементів, що беруть участь в реалізації функції системи, методи, способи дії системи).

В структурі, як у формі, виявляється її організація. Оскільки система є певною мірою організованим об'єктом, то і організацію необхідно розглядати як її інваріантну властивість. У вузькому розумінні організація — це структура конкретної системи, що не змінюється в просторі і часі. У широкому розумінні організація системи — це спосіб зв'язку, що змінюється в часі. Вона характеризується зворотністю в протилежних напрямках, що дозволяє робити висновок про погіршення чи поліпшення її організованості.

Отже, структура тісно пов'язана з організацією системи. Але між ними існує відмінність. По-перше, організація як спосіб зв'язку змінюється лише в часі. По-друге, якщо структура характеризує взаємозв'язок і співвідношення елементів системи, їх субординацію, то організація, відображаючи також взаємодію елементів, забезпечує її функціонування і розвиток. Рівень організації системи потрібно розглядати у зв'язку зі зміною структури в часі (рівень організованості системи).

Інформація відображає зв'язки між об'єктами (системами) і є їх властивістю. Вона циркулює між елементами (підсистемами), характеризує зв'язки між підсистемами і самою системою. Ці зв'язки використовуються в управлінні, бо базуються на передачі сигналів, що несуть відомості про ті чи інші події (зміни стану об'єкта) від однієї підсистеми до іншої або від підсистеми до системи. Тобто інформація є властивістю системи, що характеризує її зв'язки. Здатність сприймати інформацію залежить від організованості системи. Відомості, які передаються, можуть бути або не бути інформацією в залежності від того, наскільки відповідає рівень організації одержувача інформації рівню отриманої інформації.

Для системного аналізу властива наявність певних стандартних компонентів, які завжди присутні в аналізі будь-якої проблеми. Поєднання цих компонентів у певній послідовності, яка обумовлюється змістом, структурою проблеми та причинно-наслідковими зв'язками, і приводять до її системного вирішення. Такими типовими компонентами системного аналізу, які утворюють логічну послідовність, є: мета (ціль) — шляхи досягнення мети — необхідні ресурси. Крім цього при вирішенні завдань даного логічного ланцюга широко застосовуються різноманітні моделі і критерії.

Мета — це бажаний стан системи або бажані результати її діяльності, яких вона повинна набути (досягти) протягом певного часового інтервалу. Саме заради досягнення цілей розвиваються і створюються системи. В цілях повинна знайти відображення перспектива розвитку системи. Мета діяльності соціально-економічної системи істотно визначається умовами зовнішнього середовища. Процесу формування (обґрунтування) цілей передують етап якісного опису (характеристики, попереднього загального аналізу) розвитку системи та її станів у майбутньому при певних логічних припущеннях про умови зовнішнього середовища. Це дає можливість більш чітко та обґрунтовано сформулювати мету діяльності системи та шляхи її досягнення.

Цілі діяльності витікають з об'єктивних потреб і мають ієрархічний характер. Цілі верхнього рівня не можуть бути досягнуті, коли не досягнуті цілі найближчого ієрархічного рівня. В міру пересування «донизу» по рівнях ієрархії системи цілі конкретизуються. Для успішного системного вирішення проблеми необхідно прагнути до найчіткішого і конкретного формулювання мети, до забезпечення можливості кількісної або порядкової («більше-менше», «краще-гірше») оцінки міри їх досягнення. Для прикладу можна розглянути мету — «збільшити ефективність наукових досліджень». Вона звучить досить переконливо, але міра її досягнення досить складно визначається. Якщо ж цю мету сформулювати по-іншому, застосувати декілька підцілей, що вимірюються кількісно (зокрема, економічний ефект від впровадження результатів дослідження, їх науково-технічний рівень, кількість винаходів і патентів), то міру досягнення мети можна буде контролювати.

Цілі діяльності системи необхідно конкретизувати в часі та за функціональними виконавцями. Це означає, що загальний кінцевий результат, до якого прагне система, потрібно розчленувати на часткові задачі, що вирішуються в більш короткі терміни, визначивши ці часткові терміни їх вирішення.

Шляхи досягнення мети. Проблема знаходження найкращого шляху досягнення поставленої мети поділяється на два послідовних етапи (частини). Перший етап полягає у виборі домінуючих (раціональних) варіантів з усієї множини можливих варіантів досягнення мети. Другий етап — вибір найкращого (оптимального) варіанту вирішення з відносно невеликої кількості раціональних варіантів. Перший етап у багатьох випадках здійснюється за рахунок виключно якісних оцінок і міркувань. Про кожний з домінуючих варіантів можна сказати, що серед різних шляхів досягнення поставлених цілей немає інших, які забезпечували б одержання одного результату з найменшими затратами або при даних затратах дозволяли б досягати більших результатів. Але цей спосіб ще не дає достатніх підстав для остаточного вибору найкращого (з усіх домінуючих) варіантів. Тобто для вирішення задач другого етапу потрібно застосовувати конкретні кількісні методи оцінки варіантів, які враховували б специфіку конкретної проблеми.

Необхідні ресурси. Однією з головних умов визначення і розподілу необхідних для досягнення мети ресурсів є їх обмеженість, що зумовлює необхідність визначення пріоритетності їх використання та економії. У зв'язку з цією обставиною важливого значення набуває взаємозалежність ресурсів. Ресурси можна порівняти зі своєрідним фактором, через який доводиться пропускати рішення щодо досягнення мети. Якщо дослідження свідчить про неможливість задоволення потреб в ресурсах, то доводиться переглядати цілі та стратегії їх досягнення до тих пір, доки не буде досягнута ресурсна забезпеченість цих цілей.

Отже, основні компоненти системного аналізу визначення цілей, вибір стратегії і визначення необхідних ресурсів завжди взаємозв'язані. Наявність ресурсів, засоби їх добування, виробництва, споживання, можливість використання тієї чи іншої стратегії досягнення активно впливають на процес обґрунтування цілей. З іншого боку, перегляд цілей і стратегії можливий і в тому випадку, коли виявиться недовикористання одного або декількох видів ресурсів.

12.2. Критерії в системному аналізі

Кількісне значення критерію є конкретним виміром ефективності функціонування системи. Критерій — це певна функція від прийнятого рішення, яка дозволяє кількісно оцінити доцільність цього рішення. Конкретне значення критерію характеризує рівень досягнення цілі, ефективність методів і засобів, що використовуються для її досягнення. Якщо виходити з того, що критерій — це кількісно виражена мета і вона має єдиний кількісний вимір, тоді мета і критерій повністю співпадають. Проте тотожність цих понять спостерігається лише в найпростіших випадках, коли для виміру рівня досягнення однозначної (простой) мети застосовується чітко виражений один-єдиний критерій. При системному аналізі більшості практичних проблем такі умови досягаються дуже рідко.

Критерії, що використовуються в системному аналізі, можна поділити на:

- «оптимізаційні» (найкращий варіант вирішення відповідає максимальному або мінімальному значенню цього критерію);
- «обмежувальні» — застосовуються для того, щоб встановити діапазон бажаних значень найсуттєвіших характеристик системи та виключити ті варіанти рішення, за якими хоча б одна характеристика не потрапляє в потрібний діапазон.

Математичний вираз критерію оптимальності називають також цільовою функцією, оскільки екстремум критерію є математичним відображенням поставленої мети. Серед оптимізаційних критеріїв, в свою чергу, можна виділити: прості критерії, які складаються з одного показника, наприклад, максимум прибутку, мінімум собівартості; складні критерії, до яких входять декілька показників, наприклад, типу «вартість — ефективність». Крім того, в окремих випадках (особливо коли задача (повністю не формалізується) кращий варіант визначається на основі «зважуючих» критеріїв, які являють собою евристично побудовані «коефіцієнти відносної важливості», що присуджуються різним суттєво важливим характеристикам на основі експертних оцінок і дозволяють розрахувати «індекси» порівняльної значущості варіантів рішення.

Кожен з цих критеріїв має свої недоліки і переваги, свою сферу застосування. Як правило, в функціонуванні соціально-економічних систем велика роль належить випадковим процесам. Внаслідок цього критерій може будуватися на випадкових величинах. У подібних випадках використовують математично очікуваний (середнє значення) критерій.

Зазвичай в системному аналізі в рамках застосування математичних методів оптимальним рішенням вважається таке, яке забезпечує досягнення поставленої мети при мінімумі затрат ресурсів. Можлива і зворотна постановка задачі — забезпечити максимум ефективності при фіксованих затратах ресурсів.

Звідси загальна форма критерію при прямій постановці задачі записується у вигляді:

$$C \rightarrow \min, \text{ при умові } E > E_g,$$

де: C — значення критерію (сумарні затрати ресурсів);
 E_g — допустима (мінімальна) ефективність.

У випадку зворотної постановки задачі загальною формою критерію буде ефективність (E) при заданих затратах ресурсів, які в даному випадку є обмеженням:

$$E \rightarrow \max, \text{ при умові } C < C_g,$$

де C_g — допустима величина затрат ресурсів.

При цьому потрібно звернути увагу на важливу вимогу: при вирішенні однієї задачі не можна об'єднувати прямий і зворотний критерії, тобто прагнути до максимальної ефективності при мінімальних затратах. В такому випадку порушується принцип граничної ефективності, відповідно до якого існує верхня межа ефективності будь-якої системи з обмеженими ресурсами.

Завчасно майже неможливо вибрати гарний критерій. Реальний шлях полягає в тому, щоб застосувати початково досить грубу шкалу цінностей, проаналізувати, до яких рішень вона може привести, і, якщо ці рішення містять суперечності, обрати іншу міру цінності.

При виборі критерію необхідно, щоб виконувалась наступна умова: критерії, що використовуються для вирішення задач нижчого рівня, повинні знаходитись у відповідності, ув'язуватися з критеріями, що використовуються на наступному, більш високому рівні. Тобто за аналогією з ієрархією цілей повинна втримуватись ієрархія критеріїв їх досягнення.

Критерій повинен відповідати основним вимогам: бути репрезентативним, критичним (чутливим) до змін досліджуваних параметрів, по можливості простим. Репрезентативність критерію означає оцінку основних, представницьких (а не другорядних) цілей системи і врахування всіх головних аспектів її діяльності. Критичність полягає в необхідності помітних змін величини критерію при відносно незначних змінах досліджуваних параметрів. Достатня критичність в багатьох випадках полегшує здійснення математичних досліджень.

Процес формування критеріїв повинен іти зверху донизу при умові, що знизу доверху надходить необхідна для цього інформація. Це одна з умов ефективного управління системою.

12.3. Принципи системного аналізу

Принципи наукового дослідження являють собою вироблені людиною правила пізнання об'єктів, процесів, явищ об'єктивної дійсності. Принципи є суб'єктивними правилами, що обґрунтовуються виходячи з особливостей об'єкта, сфери діяльності, набутого досвіду, досягнутого рівня розвитку певної наукової галузі, арсеналу методів дослідження. Успіх наукового пошуку великою мірою залежить від обґрунтованості принципів, які, не даючи відповіді на питання про суть пізнання, визначають рамки і напрями такого пізнання і виконують таким чином важливу регулюючу роль в пізнанні. Виходячи з ідеї системності, Ю. П. Сурмін [19, с. 280] пропонує такі головні принципи системного аналізу:

1. Принцип елементаризму — оскільки система являє собою сукупність взаємопов'язаних елементарних складових, то необхідно виділяти і розглядати елементи системи, виходячи з мети конкретного дослідження.
2. Принцип загального зв'язку — необхідно враховувати та відображати універсальну взаємодію і взаємозв'язок предметів і явищ як в межах системи, так і поза нею.

3. Принцип розвитку — врахування еволюції, розвитку, функціонування систем, які проходять етапи виникнення, становлення, зрілості, затухання.
4. Принцип цілісності — розгляд будь-якого об'єкта (системи) з точки зору внутрішньої єдності, відмежованості від оточуючого середовища.
5. Принцип системності — розгляд досліджуваного об'єкта, процесу чи явища як системи, тобто, такої цілісності, що не зводиться до простої суми елементів і зв'язків.
6. Принцип оптимальності — будь-яка система може бути приведена до стану найліпшого її функціонування з точки зору певного критерію.
7. Принцип ієрархії — система являє собою зазвичай сукупність підпорядкованих частин і ця обставина є обов'язковою умовою системного аналізу.
8. Принцип формалізації — будь-яка система до певної міри може бути представлена у вигляді формальних моделей (логічних, графічних, математичних тощо).
9. Принцип нормативності — система може бути відображена дослідником тільки в порівнянні з певною нормативною (ідеальною) системою.
10. Принцип цілеспрямованості — будь-яка система прагне до певного поліпшення її стану, який і виступає як мета її розвитку.

12.4. Характеристика (опис) системи

При вивченні систем необхідно розрізнити суб'єкт і об'єкт пізнання, де перший втілює активнодіючого індивіда або соціальну групу, що здійснює пізнання, а другий є тим, на що спрямована діяльність суб'єкта. Такий поділ дозволяє не лише відмежовувати об'єктивне від суб'єктивного, а й надати суб'єкту надсистемне становище. Тоді функції суб'єкта виконує «творець», «керівник», «замовник», «дослідник», тобто той, хто стоїть над системою, досліджує (управляє) та володіє стосовно неї владними повноваженнями.

У зв'язку з цим питання про причини походження системи, зокрема, стосується компетенції надсистемної структури, бо саме ця структура повинна сформулювати мету та доцільність існування даної системи. В такому розумінні можуть існувати наступні причини:

- а) система розвивається самостійно, причиною її існування є прагнення забезпечити гомеостаз елементів, що її складають, а засобами для цього слугують екстенсивні та інтенсивні тенденції розвитку;
- б) система конструюється суб'єктом для задоволення його потреб, і саме так створюються штучні системи.

Загалом задача опису (характеристики) системи полягає, наприклад, у виділенні об'єкта (системи) із середовища шляхом встановлення меж між системою і середовищем та наступним відображенням функціональних особливостей системи. Необхідність опису системи виходить з потреб її подальшого дослідження та управління.

Перший етап опису системи — аналіз її взаємозв'язків з середовищем. У вихідному стані система, як частина середовища, об'єднується з цим середовищем двосторонніми зв'язками, через які і відбувається їх взаємодія. Для того, щоб відмежувати систему від середовища, тобто зробити її відносно замкненою, необхідно здійснити принаймні дві процедури: по-перше, відокремити систему від середовища; по-друге, здійснити певні структурні перетворення.

Для відокремлення (відмежування) системи від середовища потрібно застосувати певну ознаку (критерій), що дозволило б здійснити розмежування на рівні елементів системи. Принципово це питання вирішується на основі такого критерію: в системі діють інші, ніж в оточуючому середовищі, закони, що визначають її функціонування. Тому завдання полягає у виявленні сукупності елементів, які підлягають саме цим законам. Такі елементи і утворюють систему. Якщо мова іде про цілеспрямоване створення штучної системи, то потрібно прагнути до утворення та включення до системи мінімальної кількості елементів, які б забезпечили її якісну, ефективну роботу. В даному випадку мінімальність забезпечує економію ресурсів та збільшує функціональну надійність системи.

Важливою особливістю пізнання системи є те, що при дослідженні складних явищ людський розум рухається дедуктивним шляхом, відштовхуючись від простого і переходячи до складного. Аналогічно до цьо-

го при побудові моделі системи спочатку створюються мікромоделі її окремих елементів, щоб в підсумку перейти до макромоделі. Тоді макромодель описує динаміку множини мікромоделей і набуває ознаки цілісності, тобто ємерджентності. Цей процес агрегування пов'язаний з переходом від одиничного до загального, носієм якого і є макромодель.

Другий етап — власне опис системи, що полягає у поданні її змісту через структуру та функції.

Відображення структури передбачає, наприклад, відповіді на питання: з яких елементів (компонентів) складається система? Відповідь на таке питання обумовлюється метою конкретного дослідження (аналізу) системи. Виділення (поділ) елементів цілого може бути нескінченим з огляду, зокрема, на нескінченність матерії і простору, різноманітність реального світу. Тому «виділяти» елементи, «об'єднувати» їх у споріднені підсистеми необхідно, керуючись метою аналізу: для соціального дослідження людина буде неподільним елементом; для фізіологічного — людина буде сприйматися у вигляді підсистем і елементів (скелет, нервова, серцево-судинна); для хімічного дослідження людина — це суперсистема, що складається з багатьох молекулярних структур.

Вивчення структури передбачає пізнання взаємозв'язків та способів взаємодії елементів. Тобто для пізнання структури необхідно виявити потоки речовини, енергії, інформації між елементами. Спосіб взаємодії елементів великою мірою визначає рівень організації системи або впорядкованість структури. В онтологічному розумінні структура є цілісним узагальнюючим атрибутом системи, але в гносеологічному — вона багатоаспектна та багатошарова (ієрархічна). Загалом в системі розглядають матеріально-речовинний, функціональний, просторовий, часовий, організаційний аспекти її структури. Іншою важливою обставиною є виявлення взаємозалежності та взаємовпливу перелічених аспектів структури конкретної (досліджуваної) системи.

Важливою характеристикою системи є її функції, вивчення яких доцільно поділити на суттєві та несуттєві з точки зору дослідження, а також «корисні» та «шкідливі» з точки зору оптимізації системи. При цьому потрібно розрізняти головні та допоміжні (обслуговуючі) функції, тобто виявити ієрархію (підпорядкованість) функцій, що, в свою чергу, вимагає їх «поділу» на внутрішньосистемні, загальносистемні та зовнішньосистемні. Особливу увагу необхідно звернути на суперечливий характер функцій, що може виявлятися у суперечності функцій різних елементів, суперечності різних функцій одного й того ж елемента, суперечності головних і допоміжних функцій. Зрозуміло, що однією з кінцевих задач системного дослідження має бути обґрунтування виду і засобів узгодження (оптимізації) функцій, виходячи з мети розвитку системи.

Необхідною операцією системного дослідження є виявлення системоутворюючих факторів, які доцільно поділяти на об'єктивні та суб'єктивні. Важливим і відповідальним завданням тут виступає необхідність комплексної (всеохоплюючої) оцінки факторів, виявлення суттєвих та несуттєвих факторів визначення кількісної міри, що характеризує вплив конкретного фактора, визначення синергічної (самоорганізуючої) взаємодії різних факторів. При цьому потрібно врахувати різноякісність факторів, їх різновекторність або протилежність, взаємопідсилюючий або взаємовиключаючий їх вплив.

Обов'язковим аспектом системного дослідження є розгляд динаміки та еволюції системи. В залежності від типу системи та мети її дослідження потрібно чітко усвідомити, який зміст потрібно вказати в категорії «розвиток», «еволюція», «функціонування» системи. Загалом же динамічний аспект системи передає: виникнення (причини, передумови), кількісне зростання, якісне перетворення, швидкість руху, інтенсивність роботи. Важливим тут є виявлення точок якісної зміни системи (точок біфуркації, переходу до іншого фізичного стану, до якісно іншого функціонального стану), причин та механізмів таких змін. Це дає досить суттєву інформацію для прогнозування системи та її оптимізації.

Наведений перелік операцій (процедур) системного дослідження є далеко не вичерпним та неоднозначно послідовним. Кількість процедур може збільшуватись або зменшуватись, послідовність їх здійснення може змінюватись, вони можуть неодноразово повторюватись в одному дослідженні. Перелік та послідовність процедур обумовлюється передусім метою дослідження та характером (типом, змістом, властивостями) досліджуваного об'єкта.

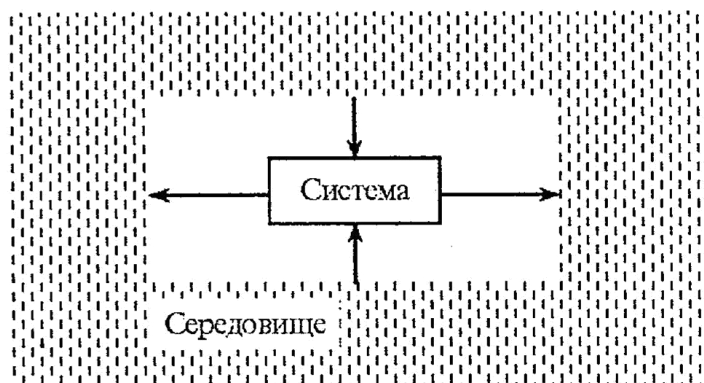
Принципово важливим при цьому є питання: на якій мові виражається зв'язок між елементами та з яким ступенем деталізації описується система. Це означає, що, переходячи до опису системи, ми змушені задовольнитися певним абстрагуванням об'єкта, тобто його моделлю, яку одержуємо доступними для цього засобами. Модель співвідноситься з реальністю так, як, наприклад, природний ландшафт (онтологічний об'єкт) з художньою картиною цього ландшафту (гносеологічна модель): ступінь їх подібності залежить від майстерності художника та використаних при цьому образотворчих засобів.

У такому розумінні модель — це спеціально синтезований для зручності дослідження об'єкт, який володіє необхідним ступенем подібності з реальним, що сформульовані суб'єктом. Необхідний ступінь подібності передбачає досягнення об'єктивного результату опису системи, але не ставиться мета максимально точного відображення системи в її моделі: по-перше, тому, що така умова занадто ускладнює завдання створення моделі; по-друге, таке відображення є, як правило, надлишковим, бо при наступному аналізі використовується далеко не вся інформація про об'єкт. Тому вже на етапі створення моделі необхідно достатньо чітко уявити, як одержана інформація буде використовуватися в подальшому.

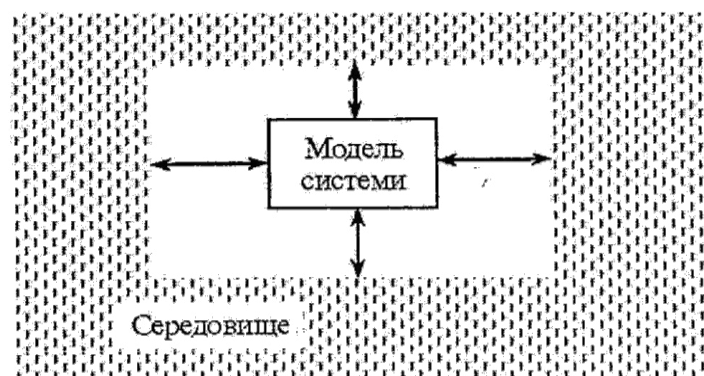
Необхідно підкреслити, що створення моделі є кожного разу творчим актом. Не існує загальноприйнятої методики переходу від об'єкта до моделі. Наведену аналогію пейзажу і картини можна продовжити.

Кожний художник зображує побачене по-своєму: один буде максимально реалістичним і постарается виконати всі деталі, інший поставить завдання передати власний настрій. Така ситуація спостерігається і при створенні моделі — успіх процедури буде залежати від здібності дослідника, його досвіду, інтуїції, досконалості інструментарію.

Структурні перетворення, які сприятимуть відмежуванню системи, полягають у перетворенні двосторонніх зв'язків об'єкта з середовищем в односторонні (рис. 12.2). Тобто в процесі «замикання» системи розривається контур взаємодії «об'єкт — середовище» та «середовище — об'єкт». Перший канал має не лише інформаційний зміст, який інформує систему про стан середовища, а й виступає як передаюча ланка впливу середовища на систему (наприклад силового). Другий канал зберігає переважно лише «силовий» зміст. Але, коли середовище розглядається як система, то необхідно зберегти також інформаційну сутність цього каналу (рис. 12.3).

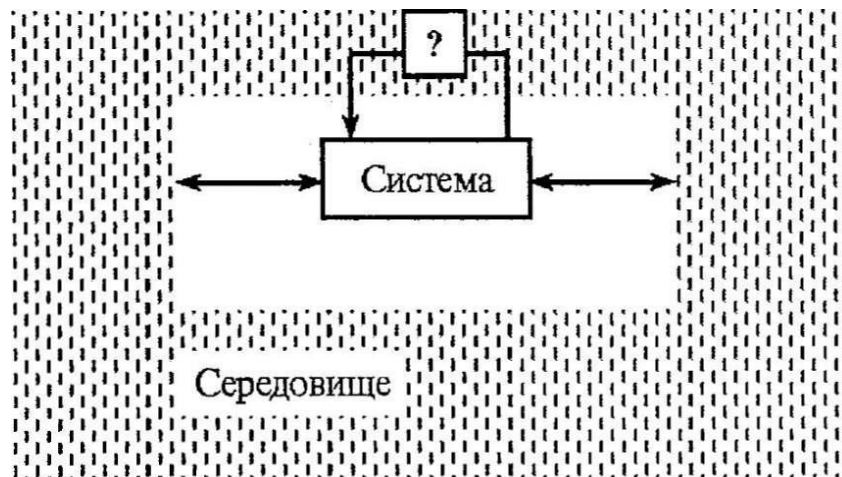


Малюнок 12.2. Двосторонні зв'язки системи з середовищем



Малюнок 12.3. Односторонні зв'язки моделі системи з середовищем

Досить часто зустрічаються випадки, коли двосторонній зв'язок (при наведених вище обмеженнях і припущеннях) не може бути перетворений у два незалежні односторонні зв'язки: один від об'єкта до середовища, інший навпаки. В таких випадках сигнал від об'єкта до середовища перетворюється в останньому і повертається у вигляді впливу на об'єкт (рис. 12.4). Тоді виникає потреба більш точного визначення характеру відносин об'єкта і середовища. Для цього необхідно розширити межі об'єкта, включивши до його складу ту частину середовища, яка містить встановлений механізм взаємодії. Таку процедуру варто повторювати до тих пір, коли нова межа не буде задовольняти вимоги об'єкта, що виражаються через властивість односпрямованості зв'язків, про що йшлося раніше.



Малюнок 12.4. Характер двостороннього зв'язку

Потрібно підкреслити, що при виділенні об'єкта з середовища здійснюється структуризація зв'язків, їм надається зорієнтованість та здійснюється функціональна класифікація, акцентованість взаємодії (інформаційної, речовинної, енергетичної). Без такої процедури неможливо делімітувати систему, а значить, неможливо ні ідентифікувати її, ні управляти нею.

Запитання для самоконтролю

1. Як відображається змістовний взаємозв'язок категорій системного дослідження?
2. Роль мети та ресурсів у дослідженні.
3. Яке значення критеріїв у системному аналізі?
4. У чому особливість «оптимізаційних» критеріїв?
5. Назвіть ключові моменти в характеристиці (описі) системи.
6. Розкрийте сутність та значення принципів системного аналізу.

13.1. Алгоритми системного аналізу

Під алгоритмом розуміють певну логічну схему, послідовність діяльності для досягнення певної мети, тобто це модель, що відображає послідовний взаємозв'язок дій, кроків, застосування засобів, що в підсумку приводять до завчасно, наперед визначеної мети.

Обґрунтовуючи алгоритм системного аналізу, потрібно мати на увазі, що такий аналіз, який базується на теорії систем, сам повинен бути системним (див. розділ 11). Стосовно загального алгоритму системного аналізу існують принаймні дві принципові точки зору.

Перша: системний аналіз — це сукупність логічно взаємопов'язаних процедур, що базуються на формальних, насамперед математичних, методах.

Друга: системний аналіз — це своєрідна творчість, що потребує для кожного конкретного випадку, конкретного об'єкта (проблеми) застосування специфічного алгоритму, бо універсальні алгоритми не в змозі ефективно вирішити розмаїтість конкретних задач.

Обидві точки зору мають досить вагому аргументацію, бо вони відображають діалектику наукового пізнання, його суперечності між стандартом і творчістю, між формальністю і оригінальністю. Але перш ніж вийти на рівень високої наукової творчості, дослідник має володіти початковими інструментами системного аналізу, які можуть і повинні стати підґрунтям для отримання творчого результату. Саме таким інструментом і є поєднання алгоритмів та методів системного аналізу.

Існує декілька варіантів алгоритму системного аналізу, що відображають точки зору провідних вчених та відповідних наукових концепцій. Всі вони розглядають певні стадії, етапи, операції, які дадуть змогу досягти мети системного аналізу.

П. М. Орловський виділяє три узагальнені етапи системного аналізу: постановка задачі, побудова і структуризація моделі (системи), прийняття і реалізація вирішення проблеми. Відповідно до таких етапів виділяються стадії алгоритму системного аналізу: виявлення проблеми, створення і дослідження системної моделі, підготовка й вирішення проблеми. На кожній стадії передбачається здійснення декількох операцій: на першій стадії 24 операції, на другій стадії 37 операцій, на третій стадії 48 операцій [12, С. 165-167].

Свої варіанти алгоритмів системного аналізу обґрунтували Герберт Спенсер (кінець XIX ст.), Е. Капітонов (1996), Ю. Плотницький (1998), І. Пригожий (1986), що передбачають 10-15 послідовних стадій.

Одну з найбільш детальних схем здійснення системного аналізу запропонував Ю. Черняк, який виділив 12 етапів та відповідні методи їх здійснення [21]:

1. Аналіз проблеми: виявлення, точне формулювання, дослідження логічної структури, ретроспективний аналіз, виявлення зовнішніх зв'язків, визначення реальності (можливості) вирішення проблеми в принципі.
2. Визначення системи: специфікація задачі, визначення позиції спостерігача, визначення об'єкта, виділення елементів (встановлення межі дезагрегації системи), визначення підсистем, характеристика середовища.
3. Аналіз структури системи: визначення рівнів ієрархії, визначення аспектів структури та способів їх вираження, виявлення процесів і функцій елементів, виявлення процесів управління (потоків інформації), специфікація підсистем та процесів діяльності й розвитку.
4. Формулювання мети і критерію системи: визначення цілей (вимог надсистеми та обмежень середовища), формулювання генеральної мети, визначення критерію, декомпозиція цілі та критерію за підсистемами, композиція загального критерію на основі часткових критеріїв підсистем.
5. Декомпозиція мети, виявлення потреб в ресурсах і процесах: формулювання цілей кожного ієрархічного рівня; формулювання зовнішніх цілей і обмежень; визначення потреби в ресурсах і процесах.

6. Виявлення ресурсів і процесів, композиція цілей: оцінка існуючих технологій і потужностей, оцінка сучасного стану ресурсів, оцінка існуючих планових проектів, оцінка можливостей взаємодії з іншими системами, оцінка суб'єктивних факторів, композиція цілей.
7. Прогноз і аналіз майбутніх умов: аналіз стійких тенденцій розвитку системи, прогноз стану середовища, передбачення появи принципово нових факторів, аналіз ресурсів майбутнього, комплексний аналіз факторів майбутнього, аналіз ймовірних змін цілей і критеріїв.
8. Оцінка цілей і засобів: кількісна оцінка критерію, оцінка взаємозалежності цілей, оцінка відносної важливості цілей, оцінка дефіцитності і вартості ресурсів, оцінка впливу зовнішніх факторів, обчислення комплексних розрахункових оцінок.
9. Відбір варіантів: оцінка цілей на сумісність, перевірка цілей на повноту, відкидання надлишкових цілей, планування варіантів досягнення кожної окремої цілі, оцінка і порівняння варіантів, узгодження комплексу взаємопов'язаних варіантів.
10. Діагноз існуючої системи: моделювання технологічного та економічного процесів, розрахунок потенціальної і фактичної потужності, аналіз втрат потужності, виявлення недоліків організації виробництва і управління, обґрунтування і аналіз заходів вдосконалення.
11. Побудова комплексної програми розвитку: формулювання проектів і програм; визначення черговості цілей і засобів їх досягнення; розподіл сфер діяльності; розподіл сфер компетенції; розробка комплексного плану виконавцями.
12. Проектування організації досягнення цілей: визначення цілей організації, формулювання функцій організації, проектування організаційної структури, проектування інформаційних механізмів, проектування режимів роботи, проектування механізмів забезпечення (матеріального, психологічного, морального).

На кожній із зазначених стадій системного дослідження застосовуються різноманітні методи, взаємозв'язок і послідовність яких визначаються конкретними задачами та специфікою об'єктів (проблем). Серед найбільш поширених методів такі: діагностичні, «дерева цілей», моделювання, економічного аналізу, експертних оцінок, математичні, статистичні.

Потрібно зауважити, що дослідник, обравши певний алгоритм системного дослідження, дотримується його лише в принциповій схемі. Але при цьому застосовує інші моделі, схеми, нестандартні засоби, що відображають специфіку об'єкта та мети. Це означає, що алгоритм системного аналізу недоцільно абсолютно формалізувати. Існують етапи і процедури, в яких дослідники та експерти мають виконати творчу роботу, що не вкладається повністю в жорстку схему алгоритму. Тобто дослідник може або у визначеній послідовності здійснювати операції, або обирати чергову операцію в залежності від результату попередньої операції.

13.2. Методи системного аналізу

З усієї великої сукупності методів системного аналізу кожен з них застосовується для вирішення певної конкретної задачі (операції) або сукупності задач. Єдиної, загальноновизнаної класифікації методів системного аналізу поки що немає. З наявних спроб класифікації видно, що в переважній їх більшості до критеріїв класифікації належать спосіб реалізації та форма представлення. Це, зокрема, спостерігається в публікаціях Ю. Черняка, Ю. Сурміна, Г. Юна. Потрібно також зауважити, що власне класифікація методів системного аналізу має більш ілюстративне значення, ніж практичну спрямованість. З огляду на цю обставину узагальнений поділ методів системного аналізу можна здійснити наступним чином:

- експертно-інтуїтивні (неформальні) методи, до яких належать, зокрема, методи «мозкової атаки», сценаріїв, експертних оцінок);
- кількісні (формальні) методи (математичні, статистичні);
- графічні методи (дерева цілей, дерева взаємозв'язків);
- методи моделювання-поєднують елементи зазначених методів (імітаційні, ігрові, макетні моделі).

Методи експертних оцінок базуються на отриманні, обробці та узагальненні інформації фахівців (експертів), які мають високу кваліфікацію та досвід у відповідній галузі знань (діяльності). Загалом ці методи поділяються на дві групи: індивідуальні експертні оцінки та колективні експертні оцінки. До першої групи належать, зокрема, методи психоінтелектуальної генерації ідей, метод інтерв'ю. До другої групи

належать методи експертних комісій, метод Дельфі, метод колективної генерації ідей «мозкової атаки», метод керованої генерації ідей, метод деструктивної відносної оцінки, аналітичний метод (експертні оцінки т моделі об'єкта).

Метод «мозкової атаки» базується на стимулюванні творчої продуктивної діяльності експертів шляхом спільного обговорення конкретної проблеми, яке регламентується певними правилами. При цьому «забороняється» оцінка висунутих ідей, обмежується час одного виступу, дозволяються багаторазові виступи одного й того ж учасника; пріоритет виступу має експерт, що розвиває попередню ідею; обов'язково фіксуються всі висловлені ідеї, оцінка ідей здійснюється на наступних етапах.

Метод Дельфі полягає у виявленні узгодженої оцінки експертної групи шляхом їх автономного опитування в декілька турів, що передбачає повідомлення експертам результатів попереднього туру з метою додаткового обґрунтування оцінки експертів у наступному турі. Це найбільш формальний метод серед експертних методів, він найчастіше використовується для аналізу соціальних, економічних, політичних проблем, які не мають достатнього кількісного виразу.

Метод складання сценаріїв найчастіше застосовується для вирішення задач прогнозування. Сценарій - це опис ймовірного розвитку процесу чи стану об'єкта в майбутньому на основі правдоподібних припущень. Зазвичай складають три типи сценаріїв: оптимістичний, середній та песимістичний. Складання сценарію - це не якась довільна процедура, це насамперед науковий метод, що підкоряється певному алгоритму. Складання сценарію передбачає логічну послідовність операцій, які включають, зокрема: формулювання проблеми; відбір і оцінку чинників розвитку процесу; обґрунтування показників і критеріїв, що характеризують стан об'єкта (процесу); формулювання припущень щодо ймовірного розвитку процесу; порівняння (зіставлення) бажаних показників майбутнього розвитку з показниками та характеристиками, що очікуються в результаті припущень (суджень, передбачень); виявлення ймовірних наслідків розвитку подій «за сценарієм», розробка заходів з регулювання процесу в бажаному напрямку [23].

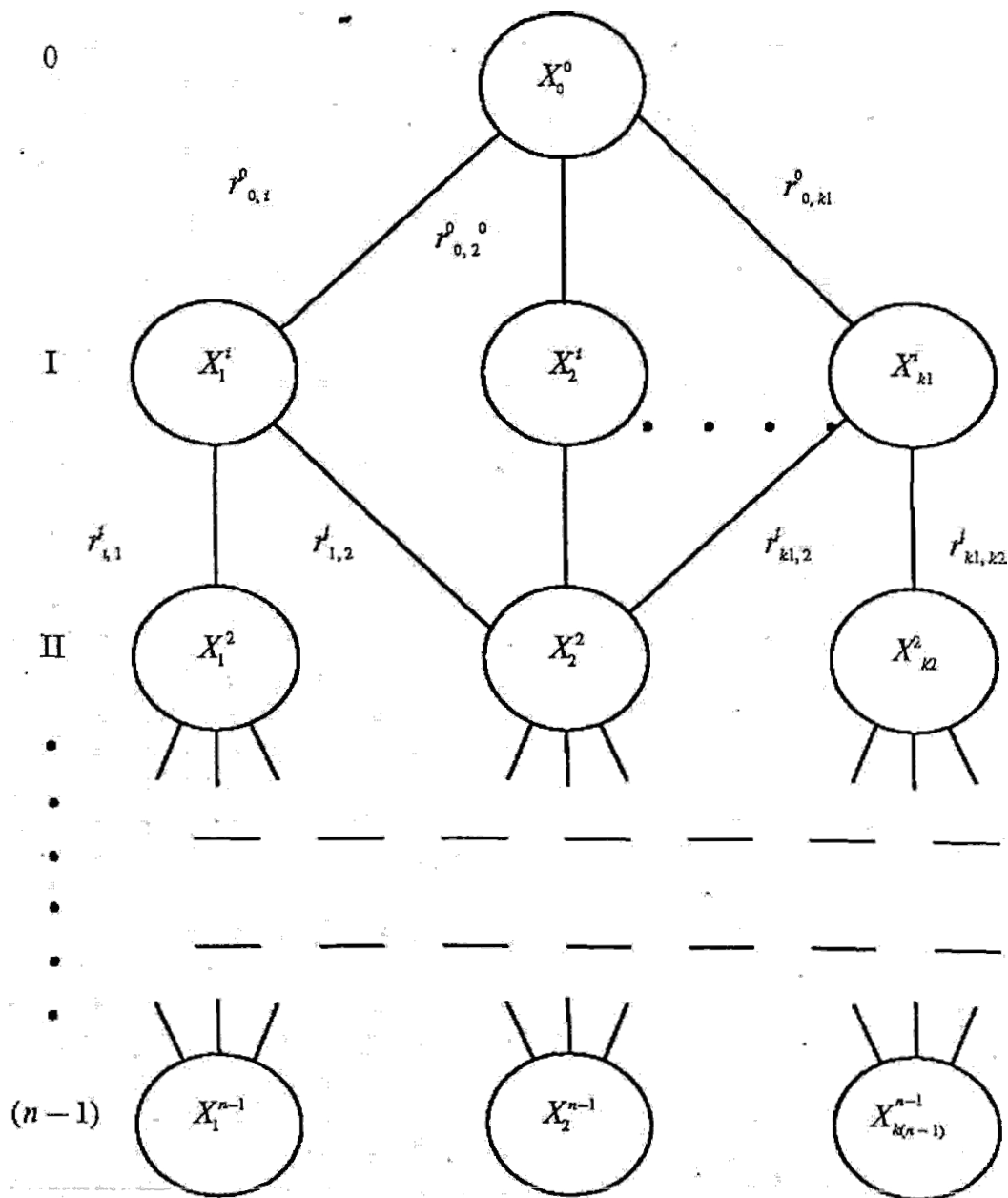
13.3. Побудова дерева взаємозв'язків

Цей метод структуризації ґрунтується на дезагрегації досліджуваної проблеми на складові частини (елементи) з наступною можливою оцінкою їх відносної важливості. Таку процедуру часто називають побудовою дерева цілей. Але оскільки в більшості деревоподібних структур містяться не тільки цілі, а й засоби їх досягнення (заходи, ресурси), то в загальному випадку їх доцільніше називати деревами взаємозв'язків або деревами «цілі-засоби».

В подальшому викладі під деревом взаємозв'язків будемо розуміти зв'язаний неорієнтований граф, вершини якого є елементами дерева, а ребра - зв'язками між цими елементами. Елементи - це складові дискретні частини дерева взаємозв'язків (цілі, підцілі, заходи, ресурси, задачі і т. ін.). Ребра - це лінії, що з'єднують вершини зорієнтованого графа. При цьому припускається одне відхилення від строгого визначення поняття «дерево», що прийняте в теорії графів. Воно полягає в тому, що елементи дерева взаємозв'язків можуть входити до складу більш ніж одного елемента вищого рівня, тобто не виконується одна з умов дерева, згідно з якою кількість ребер повинна бути на одиницю меншою від кількості вершин.

Дерево взаємозв'язків (рис. 13.1) являє собою граф $B = (X, K)$, де $X = \{X^i, X^I, X^{n-1}\}$ - множина елементів, що належить n -му рівню дерева взаємозв'язків. На нульовому (найвищому) рівні знаходиться початковий елемент (мета) - X . Множина елементів на i -му рівні визначається як $X^i = \{X^i_1, X^i_2, \dots, X^i_m\}$, $0 < i < n - 1$, де i - номер рівня дерева взаємозв'язків, а m - кількість елементів на i -му рівні. Множина ребер $K = \{g_i\}$ графа O позначає зв'язки між елементами, з яких виходить ребро, і елементами, до якого воно входить; y - номер елемента, з якого виходить ребро; i - номер елемента $(i + 1)$ рівня, в який воно заходить; $0 < i < n - 2$; $0 < i < K \setminus 1, < i < ki + 1$.

Одне з головних завдань побудови дерева взаємозв'язків полягає в тому, щоб встановити повний набір елементів на кожному рівні та визначити взаємозв'язки й підпорядкованість між ними. Інше завдання - наступне визначення коефіцієнта відносної важливості (КВВ) елементів кожного рівня.



Малюнок 13.1. Принципова схема дерева взаємозв'язків

До найбільш загальних принципів побудови дерева взаємозв'язків слід віднести:

- *підпорядкованість* - елементи нижчого рівня повинні бути підпорядкованими елементам вищого рівня, тобто логічно витікати з них, забезпечувати їх реалізацію;
- *співставність* - на кожному рівні дерева взаємозв'язків розміщуються однопорядкові елементи, тобто співставні (співмірні) за своїм масштабом та значущістю, які отримані в результаті деталізації за одним певним критерієм відповідно до загальної (X^i) або вищої мети (цілі);
- *повнота* - кожний рівень повинен мати всі елементи, що необхідні для забезпечення певного елемента вищого рівня;
- *визначеність* - формулювання назв цілей та інших елементів дерева взаємозв'язків повинне бути таким, що дозволяло б оцінити міру їх досягнення в кількісній чи порядковій формі (більше-менше, краще-гірше);
- *коригованість* - можливість внесення коректив у дереві взаємозв'язків як при зміні самих цілей, так і при зміні можливостей їх реалізації.

Дерево взаємозв'язків може в одних випадках являти собою повний зв'язаний граф (містити в собі цілі, заходи, ресурси), в інших випадках може бути частковим незв'язаним графом (містити або лише цілі, або лише заходи, або лише ресурси). В залежності від того, як деталізує кожний елемент потреби елемента

вищого рівня, можна виділити три типи дерева взаємозв'язків. Якщо декілька елементів нижчого рівня забезпечують реалізацію одного елемента вищого рівня, то це буде тип дерева з прямими зв'язками (розгалуження). Якщо один елемент нижчого рівня забезпечує реалізацію кількох елементів вищого рівня, то це буде тип дерева з перехресними зв'язками («звуження дерева»). Коли спостерігаються і прямі, і перехресні зв'язки, то це буде змішаний тип дерева взаємозв'язків.

При побудові зв'язаного графа (цілі-заходи-ресурси) заходи доцільно структурувати для кожної конкретної цілі, що знаходиться на останньому рівні дерева цілей, а ресурси - для кожного конкретного заходу, що знаходиться на останньому рівні дерева заходів. Для визначення (виявлення) елементів кожного рівня спочатку краще побудувати дерево з прямими зв'язками, а потім, в разі необхідності, перейти до узагальненої структури з перехресними зв'язками.

Є. П. Голубков [5, с. 35] виділяє декілька принципів деталізації дерева взаємозв'язків.

Предметний принцип, відповідно до якого елементи дерева взаємозв'язків розбиваються на елементи такої ж сутності (природи), яку має елемент вищого рівня. Тобто на різних рівнях дерева представлені елементи одного і того ж типу (природи) лише з різним ступенем деталізації. Наприклад, елемент «збільшення товарів масового споживання» буде включати на нижчому рівні такі елементи, як «збільшення виробництва одягу», «збільшення виробництва взуття» і т. ін. Цей принцип застосовується для розкриття змістовної суті елемента, що деталізується (структурується), з точки зору компонентів, які входять до його складу.

Функціональний принцип. Під функцією розуміють специфічну діяльність системи або її елементів, що спрямована на задоволення певних внутрішніх або зовнішніх потреб. В дереві взаємозв'язків виявляється (визначається) зміст функцій, які повинні виконуватися конкретними елементами (системами) для досягнення поставленої мети (цілі). Тому згідно з цим принципом виявляються окремі функції, сукупність яких визначає зміст конкретної цілі та шляхи її досягнення. Наприклад, мету «вдосконалення керівництва» можна деталізувати на вдосконалення «планування», «прогнозування», «управління», «організації». Тобто функціональний принцип деталізації застосовується для того, щоб розкрити зміст елемента з точки зору певної спрямованості дій з досягнення цілей даного елемента.

Принцип етапності передбачає деталізацію елемента з точки зору етапів розвитку (відтворювального або життєвого циклу об'єкта) та етапів прийняття рішення.

Принцип врахування всіх факторів, що впливають на вирішення даної проблеми, та наступної трансформації їх в цілі або заходи. Для застосування цього принципу необхідні глибокі фахові знання суті і специфіки досліджуваного об'єкта.

Принцип адресності передбачає конкретизацію певної цілі або заходу за місцем виконання. Даний принцип може передбачати побудову дерева взаємозв'язків не лише для системи в цілому, а й для окремих її елементів, тобто будується «дерево в дереві».

Наведені принципи застосовуються в залежності від змісту та специфіки конкретних завдань, від рівня досліджуваної проблеми. Застосування всіх принципів в одному дереві взаємозв'язків є практично неможливим та й недоцільним. Але застосування даних принципів в певній послідовності дає можливість, поступово конкретизуючи зміст елементів, досягти потрібного рівня деталізації. З іншого боку, неможливо визначити твердий порядок (послідовність) застосування на практиці вказаних принципів структуризації. Важливо, щоб при побудові дерева взаємозв'язку були дані відповіді на всі питання, що виходять з мети застосування даного методу. Головним тут є така послідовність принципів структуризації, яка б дала змогу найшвидше виявити суть та особливості об'єкта дослідження.

Важливим аспектом побудови дерева взаємозв'язків і особливо дерева цілей, є врахування зовнішніх та внутрішніх цілей стосовно досліджуваної системи. Досягти цього можна шляхом відображення на першому рівні дерева зовнішніх і внутрішніх цілей. Як правило, в та-ком випадку потрібно внутрішні цілі підпорядкувати зовнішнім цілям, що узгоджується із загальними принципами системного аналізу (ієрархія системи-ієрархія цілей). Вибір певного принципу структуризації істоти залежить від адекватності вербальної характеристики реального об'єкта та узгодженості таких характеристик на різних рівнях де-

талізації. Тобто формулювання цілей, засобів, ресурсів повинні бути однозначними, загально визначеними, конкретними, зрозумілими. Велику допомогу в цьому дає використання стандартів, термінологічних словників.

У дереві взаємозв'язків, якщо його розглядати як зв'язаний граф, можуть бути цільові рівні, рівні заходів і рівні ресурсів. Якщо ж це дерево розглядати як не зв'язаний граф, то воно розбивається на три відносно ізольованих дерева: цілей, заходів, ресурсів, які в залежності від специфіки проблеми можна будувати відособлено. Проте виникає питання, де проходить лінія поділу між рівнями цілей і рівнями заходів в умовах зв'язаного графу?

Для правильної відповіді на це питання потрібно виходити з того, що ціль - це бажаний результат (стан, параметри, обсяги, масштаби), а захід - це конкретна дія (спосіб) досягнення цього результату. В дереві взаємозв'язків, як правило, елементи вищих рівнів є цілями, а елементи нижчих рівнів - засобами досягнення цілей, і така залежність зберігається для всіх рівнів. Тому, розглядаючи ізольовано формулювання певного елемента, далеко не завжди можна визначити є він ціллю чи заходом. Для відповіді на це питання необхідно вивчити всю структуру дерева взаємозв'язків.

Побудова дерева цілей. Загальні положення побудови дерева взаємозв'язків, що викладені вище, є справедливими для часткових випадків, зокрема для побудови дерева цілей. Необхідно вяснити специфіку застосування цих загальних принципів стосовно побудови дерева цілей.

Дерево цілей будується, як правило, на основі принципу повного охоплення всіх сторін діяльності досліджуваного об'єкта (науково-технічної, виробничої, економічної, соціальної). Проте досить часто дерево цілей будується для вирішення якоїсь однієї проблеми, наприклад науково-технічної. В такому випадку структурується тільки ця сторона діяльності об'єкта, а інші його аспекти враховуються при цьому як фактори, обмеження чи критерії оцінки досягнення певного рівня цілей.

В процесі структуризації елементів на цільових рівнях потрібно одержати відповідь на питання: якого результату потрібно досягти? При цьому враховується, що відповідь на питання «коли?» вже отримана в результаті визначення інтервалу часу, для якого будується дерево цілей. Для структуризації сукупності цілей і заходів як функції часу доцільно застосовувати паралельно інші методи, наприклад методи мережевого планування.

Після досягнення достатнього ступеня конкретизації у визначенні функціонального змісту цілі, доцільно застосувати предметний принцип структуризації, тобто розкрити предметний зміст кожної цільової функції. Наприклад, при подальшій конкретизації цілі «вдосконалення збуту на підприємстві» визначають конкретні види продукції, збут якої необхідно вдосконалити.

Далі резонно постає питання: як оцінити міру досягнення поставлених цілей? Для відповіді на це питання необхідно знати необхідні (бажані, задані) значення кожної цілі. Тому доцільно обґрунтувати потрібні значення рівня досягнення цілей і, бажано, в кількісному виразі.

Тобто побудова дерева цілей може бути завершена формулюванням вимог до рівня досягнення тієї чи іншої цілі або нормативних значень цілі.

Потрібно зауважити, що нормативні значення не обов'язково формуються тільки на останньому рівні дерева цілей. В багатьох випадках можливо (і навіть доцільно) визначити нормативні (бажані) значення певних цілей паралельно зі структуризацією цих цілей, тобто застосовувати такі нормативи на кожному рівні дерева цілей, а не тільки на останньому.

На початкових етапах побудови дерева цілей у ньому можуть бути представлені тільки орієнтовні бажані значення рівнів досягнення цілей, наприклад максимальні (мінімальні). Після остаточної побудови всього дерева взаємозв'язків та оцінки ресурсів здійснюється підсумкове уточнення можливого рівня (нормативу) досягнення цілей шляхом руху знизу вгору по рівнях цього дерева.

На певній стадії (етапі) структуризації виникають альтернативні варіанти певних елементів стосовно досягнення цілей вищого в порівнянні з ними рівня. Така поява свідчить про завершення побудови цільових рівнів та про необхідність переходу до побудови дерева заходів.



Малюнок 13.2. Схема «дерева цілей» зменшення виробництва (за Є.П. Голубковим)

Приклад побудови дерева цілей соціальної проблеми. Структура такого дерева визначається в результаті деталізації соціальної проблеми в напрямку розкриття її змісту аж до конкретних нормативних значень окремих показників, що характеризують міру досягнення поставленої соціальної цілі. Головною ціллю на нульовому (генеральному) рівні структуризації є ціль - «забезпечити потрібний (бажаний) рівень соціального розвитку колективу».

На першому рівні цілей розкривається зміст головної цілі, для цього вона структуризується на окремі компоненти (цілі першого порядку) за принципом охоплення всіх напрямів соціального розвитку колективу.

На другому рівні здійснюється подальша конкретизація головної цілі за принципом охоплення всіх напрямів підцілей (цілей 1 порядку), що визначені на першому рівні структуризації.

На третьому, а при необхідності і на четвертому, рівні застосовується предметний принцип структуризації. Такий ступінь деталізації дає можливість на останньому (найнижчому) рівні дерева цілей сформулювати конкретні значення нормативних показників, що будуть відображати бажаний рівень досягнення поставленої соціальної мети. Наприклад, таким конкретним нормативом може бути: «підвищити рівень кваліфікації 50 верстатників в середньому на два розряди».

Запитання для самоконтролю

1. *Які головні етапи системного аналізу?*
2. *У чому сутність декомпозиції в системному аналізі?*
3. *На які групи поділяють методи системного аналізу?*
4. *У чому сутність методів експертних оцінок?*
5. *У чому сутність дезагрегації в системному аналізі?*
6. *Які головні принципи побудови дерева взаємозв'язків?*
7. *Що являє собою метод побудови «дерева цілей» ?*

14.1. Моделювання як засіб наукового пізнання

Будь-яка цілеспрямована діяльність людини вимагає уявлення про мету діяльності, тобто про образ тієї мети, на досягнення якої і спрямована така діяльність. Такий образ є моделлю того стану, до якого прагне людина. Цілеспрямована діяльність здійснюється відповідно до завчасно визначеного плану, алгоритму, який є образом такої діяльності, тобто моделлю діяльності. Зазвичай чітко дотримати на практиці план діяльності з початку до завершення не вдається, виникають нові обставини, нова інформація на проміжних етапах. Для того, щоб врахувати такі обставини та правильно обрати наступний крок, необхідно порівняти наслідки всіх ймовірних кроків, не виконуючи їх реально, а імітуючи на певній моделі. Такі ситуації виникають скрізь і всюди, вони свідчать про те, що моделювання є необхідним, притаманним елементом будь-якої доцільної діяльності, що організовує її.

В загальному вигляді *моделювання* визначається як форма (процес) діяльності, що спрямована на побудову, використання і вдосконалення моделей. Сутність моделювання полягає в тому, що встановлюється відношення еквівалентності між двома системами, одна з яких реально існуюча, а інша - абстрактна, тобто уявне відображення реально існуючої. Ця абстрактна система і є моделлю.

Спочатку моделлю називали певний об'єкт, який у відповідній ситуації заміняв інший об'єкт. Не відразу став зрозумілим загальний характер моделювання, тобто можливість і необхідність уявляти наші знання у вигляді моделей. Тому впродовж тривалого періоду поняття «модель» стосувалось лише матеріальних об'єктів спеціального типу, наприклад манекен (модель фігури людини). З часом були усвідомлені модельні властивості рисунків, карт - реальних систем штучного походження, що втілювали абстракцію досить високого рівня. Наступним кроком стало визнання того, що моделями можуть виступати і абстрактні утворення, наприклад математичні моделі. В результаті діяльності математиків, логіків та філософів була створена теорія моделей. Згідно з цією теорією, *модель* - це відображення однієї абстрактної математичної структури на іншу, також абстрактну, або як результат інтерпретації першої моделі в термінах і образах другої.

У ХХ ст. поняття моделі набуває більш універсального характеру.

Поняття абстрактної моделі виходить за межі математичних моделей, стало застосовуватись до будь-яких уявлень про світ. В усіх сферах науки модель усвідомлюється як дещо універсальне, яке, однак, реалізується за допомогою різних способів. Тобто модель розглядається як спосіб існування знання.

В літературі поняття моделі трактується досить широко. Цей термін, зокрема, означає такі поняття, як математичний опис процесу чи об'єкта; алгоритмічний опис об'єкта; формула, що визначає закон функціонування; графічне представлення об'єкта (процесу) у вигляді графа або блок-схеми, або у вигляді кривої, що представляє процес, та ряд інших форм і понять.

У науковому розумінні модель визначається як явище, предмет, знак чи уявний образ (схема, опис), що знаходиться в деякій відповідності з досліджуваним об'єктом і здатний заміщувати його в процесі дослідження, даючи - інформацію про об'єкт. Тобто *модель* - це матеріальна або смислова система (створена дослідником для пізнання об'єкта дослідження), що відображає суттєві властивості об'єкта. Таким чином, відображення реального об'єкта називають моделлю, процес створення моделі - моделюванням, застосування (використання) моделі - модельним дослідженням.

Головне призначення моделювання полягає в отриманні повної, достовірної інформації про реальний об'єкт через створення та дослідження моделі цього об'єкта. Відповідно до мети дослідження створюється найбільш адекватна модель. Ця обставина зумовлює наступні важливі особливості моделей:

1. Модель зазвичай є простішою, ніж оригінал (реальний) об'єкт, бо вона намагається відобразити його найістотніші властивості під кутом зору мети дослідження. Тут завжди виникає проблема визначення суттєвих і несуттєвих властивостей об'єкта в контексті конкретної мети дослідження.

2. Кожна модель створюється з певною метою, для вирішення певної дослідницької задачі, тому модель одного об'єкта далеко не завжди можна застосувати для дослідження іншого об'єкта, більше того - модель, створену для дослідження певного об'єкта з певною метою, далеко не завжди можна застосувати для дослідження цього ж об'єкта з іншою дослідницькою метою.
3. Модель повинна відповідати певним умовам для забезпечення мети дослідження. По-перше, модель має бути подібною до оригіналу.

В залежності від задач дослідження подібність може бути абсолютною, повною, неповною або наближеною. По-друге, модель, виступаючи до певної міри заміником реального об'єкта, повинна достатньо повно відображати і представляти цей реальний об'єкт. По-третє, модель має бути достатньо інформаційною, тобто давати адекватну, достовірну та прийнятну інформацію про реальний об'єкт.

У підсумку потрібно зазначити, що в сучасних умовах створена *теорія моделювання* і подібності, яка має свій власний методологічний і поняттєвий апарат, специфічні свої способи побудови і класифікації моделей, які необхідно знати кожному високоосвіченому фахівцеві в будь-якій сфері наукової чи практичної діяльності.

1 4.2. Види моделей

Одна з особливостей моделі полягає в тому, що вона є не просто образом, відображенням взагалі - вона є відображенням цільовим. З цього виходить, що один і той же об'єкт може мати велику множину моделей: для різної мети - різні моделі. Цільове призначення моделей дає підстави для їх типізації відповідно до типів цілей: пізнавальні та прагматичні.

Різниця між пізнавальними та прагматичними моделями виявляється у їх відношенні до оригіналу в процесі діяльності. *Пізнавальні* моделі є формою організації і представлення знань, засобом поєднання нових знань з уже наявними. В силу цього при виявленні розбіжностей між моделлю і реальністю постає завдання усунення цих розбіжностей шляхом зміни моделі. Пізнавальна діяльність зорієнтована на наближення моделі до реальності, яку модель відображає.

Прагматичні моделі виступають засобом управління, організації практичних дій, тобто є робочим втіленням мети. Їх використання полягає в тому, щоб при виявленні розбіжностей між моделлю і реальністю спрямувати зусилля на зміну реальності таким чином, щоб наблизити реальність до моделі. Тобто прагматичні моделі мають характер нормативу, відіграють роль стандартів, під які певним чином «підганяються» (підлаштовуються) як процес діяльності, так і її результат. Прикладами прагматичних моделей можуть бути плани і програми дій, статuti організацій, кодекси законів, алгоритми, методики дослідження, креслення і шаблони, технологічні допуски, екзаменаційні вимоги і т. ін.

Відмінність між пізнавальними і прагматичними моделями можна визначити наступним чином*, пізнавальні моделі відображають існуюче, а прагматичні - не існуюче, але бажане та ймовірно, таке що можна здійснити, створити. Ще одним різновидом є *прогнозні* моделі об'єкта прогнозування, що дозволяють отримати інформацію про ймовірні стани об'єкта в майбутньому та (або) про шляхи досягнення таких станів. Тобто, мета прогнозної моделі - отримання інформації не взагалі про об'єкт, а про його майбутні стани. Особливість таких моделей полягає в тому, що неможливо здійснити безпосередньо перевірку відповідності моделі і оригіналу в зв'язку з тим, що вона відноситься до майбутніх станів об'єкта. При цьому треба мати на увазі, що або власне об'єкт не існує в даний момент часу (проекується), або об'єкт існує, але не відомо, які зміни можуть відбутися з ним в майбутньому.

Серед найбільш поширених видів моделей розрізняють структурно-функціональні моделі, фізичні моделі, економічні моделі; процедурні моделі. *Структурно-функціональні* моделі описують функції, що виконує система, її складові частини або ж керований процес. Ці моделі зазвичай створюються на початку дослідження системи або модельного експерименту. Перш ніж описувати функції, треба мати їх перелік, який отримується через розуміння та уявлення ролі кожного структурного елемента в системі. Тобто будується, наприклад, структурно-функціональна модель у вигляді узагальненого опису технологічної схеми, що представляється в графічній формі, або в формі математичних рівнянь (залежностей). Функції ж найчастіше описуються додатково в словесній формі.

Фізична модель відображає математичні залежності між змінними (характеристиками) фізичного (виробничого, технологічного) процесу. Це можуть бути такі параметри, як температура, тиск, витрати палива, швидкість прокатки металу, зусилля преси, процентний вміст речовини в суміші і т. ін. Відповідно до характеру досліджуваного процесу такі моделі можуть бути неперервними або дискретними в часі, детермінованими або стохастичними; за способом утворення - аналітичними або експериментальними.

Економічна модель визначає залежність між різними економічними процесами системи, обмеження, що накладаються на економічні показники, критерії, що дозволяють оптимізувати економічні процеси. Вони можуть мати вигляд формул, рівнянь або алгоритмічного опису. Цей клас моделей можна поділити на прогнозні та виробничі моделі.

Прогнозні моделі служать для оптимізації планів розвитку системи, формулювання ймовірних альтернатив розвитку системи. Ці моделі покликані забезпечити кількісну оцінку різних варіантів розвитку системи відповідно до критерію оптимальності.

Виробничі моделі визначають взаємозв'язки економічних показників з параметрами виробничого процесу в ході його розвитку. Вони призначені для оперативного управління функціонуванням системи.

Відповідно до масштабу процесу чи об'єкта, що моделюються, економічні моделі поділяють на макро та мікроекономічні. Макроекономічні моделі стосуються процесів на рівні національної економіки, управління галузями, міжгалузевими комплексами.

Мікроекономічні моделі стосуються проблем управління на рівні підприємства або етапів створення великих технічних систем.

* *Процедурні моделі* описують операційні характеристики систем, тобто порядок і зміст управлінських впливів. Найважливішим у цьому класі моделей є інформаційні моделі, які визначають структуру інформаційних потоків в системі, зміст, формат, швидкість обробки інформації, точки виникнення та споживання інформації, етапи її проходження в системі та контролю за нею. До цього класу належать моделі режимів та безпеки виробництва, які описують дії, що змінюють стан системи (пуск, зупинка, зміна навантаження), а також сукупність правил і обмежень, що накладаються на функціонування систем умовами безпеки.

1 4.3. Способи втілення моделей

В процесі створення моделі дослідник може оперувати лише двома типами матеріалів (засобів) - засоби власне свідомості та засоби оточуючого матеріального світу. Відповідно до цієї обставини моделі можна поділити на абстрактні (ідеальні) та матеріальні (реальні, речовинні, фізичні). Проміжне становище займають так звані знакові моделі, тобто реальні моделі, які одночасно мають абстрактний зміст.

Матеріальні моделі. Для того, щоб матеріальна модель могла стати відображенням, тобто заміщувала в певному розумінні оригінал, між оригіналом і його моделлю потрібно встановити відношення подібності. Співвідношення моделі і реального об'єкта визначається категорією «гомоморфізм», яка означає узагальнене відображення в моделі суттєвих ознак, властивостей, параметрів реальної системи. Гомоморфне відображення здійснюється за таких умов:

- а) кожному елементу реальної системи відповідає один елемент моделі;
- б) кожному зв'язку (відношенню) реальної системи відповідає один зв'язок (відношення) в моделі;
- в) певна взаємозалежність між елементами реальної системи повинна відповідним чином відображатися в моделі [23, с. 52].

Категорія «ізоморфізм» означає повну відповідність між реальним об'єктом і моделлю, яка в такому розумінні може розглядатися як реальний об'єкт. Але у випадку ізоморфного відображення втрачається сам сенс моделювання, бо ізоморфну модель пізнати (дослідити) можна з таким же успіхом, що й реальний об'єкт. Окремі випадки ефективного застосування ізоморфних моделей зустрічаються, наприклад, в експериментальних випробуваннях.

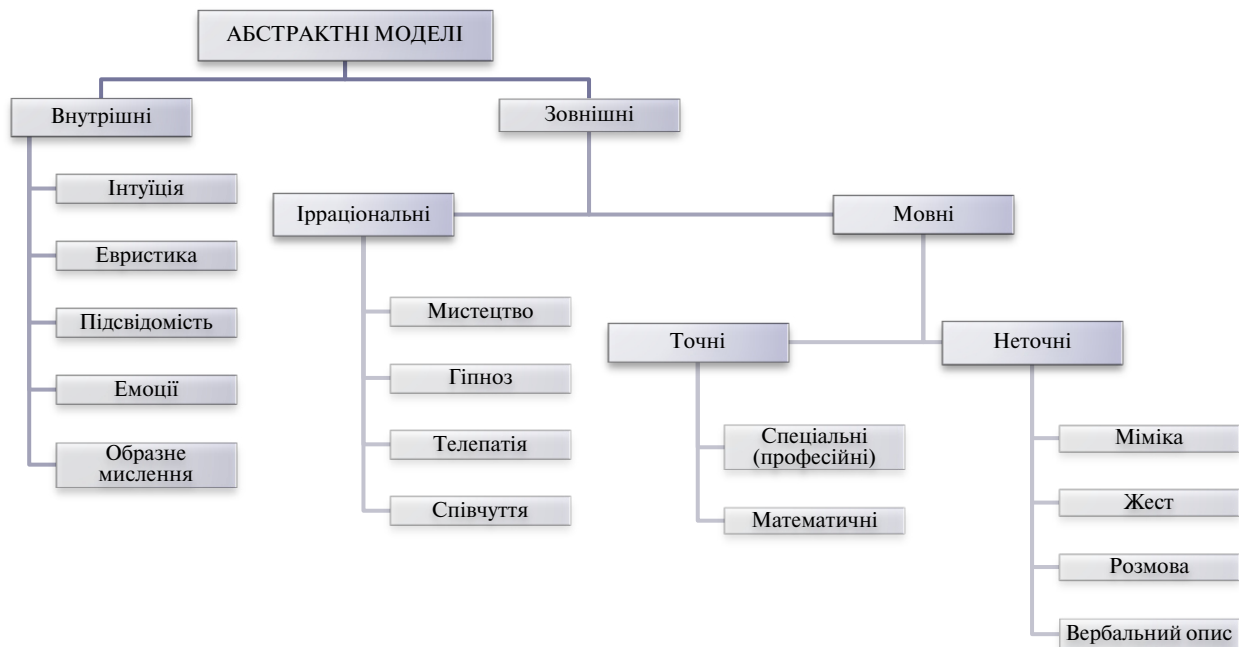
За способами встановлення подібності матеріальні моделі поділяють на моделі прямої подібності, моделі опосередкованої подібності та моделі умовної подібності (рис. 14.1)



Малюнок 14.1. Класифікація матеріальних моделей (за Ю. Г. Котіковим, 2001)

Пряма або фізична подібність до певної міри виглядає як змодельована цілісність. Прикладом таких моделей є фото, макети будинків, моделі транспортних засобів, протези, шаблони, викрійки. Але при всій досконалості моделі вона все ж залишається лише заміником оригінала, виконує його роль (функцію) лише в певному відношенні. Навіть у випадку, коли модель прямої подібності виконана з того ж матеріалу, що й оригінал, тобто подібна субстратно, виникають проблеми перенесення результатів моделювання на оригінал. Наприклад, випробовуючи модель автомобіля в аеродинамічній трубі, частину умов експерименту можна привести у відповідність з масштабами моделі (швидкість повітря), інша ж частина умов (щільність повітря, сила тяжіння) не може бути масштабована. конструкція). Універсальність мови досягається ще й тим, що мовні моделі неоднозначні, розмиті. Така властивість виявляється вже на рівні слова. Багатозначність і невизначеність слів поряд з багатоваріантністю їх поєднань у фрази дозволяє будь-яку ситуацію відобразити з достатньою для звичайних практичних цілей точністю. Така «приблизність» є невід’ємною властивістю мовних моделей. Людина долає розмитість в практиці спілкування через «розуміння», «інтерпретацію». Іноді така розмитість свідомо застосовується (в гуморі, поезії), в інших випадках вона заважає точному вираженню суті.

Приблизність звичайної (повсякденної) мови часто є суттєвим недоліком, який усувається шляхом, насамперед, розробки «професійної» мови. Диференціація наук об’єктивно зумовлює появу «спеціалізованих» мов, більш чітких і точних, ніж повсякденна. Мовні моделі спеціальних наук є точнішими, конкретнішими, містять більше інформації. Нові знання вимагають нових моделей, більш спеціалізованих мов. В результаті утворюється ієрархія спеціальних мов та відповідна ієрархія моделей (рис. 14.2).



Малюнок 14.2. Класифікація абстрактних моделей (за Ю. Г. Котиковим, 2001)

За словами І.Канта, будь-яка галузь знань може з більшими підставами називатися наукою, чим більш в ній використовується математика. (написати рівняння) є достатньо нескладною справою, але досить непросто в цій модельній формі передати змістовну сутність досліджуваного явища. Математичні моделі володіють найвищою точністю, але для того, щоб досягти їх належного застосування в певній галузі, необхідно отримати достатню для цього кількість знань. «Нематематизованість» певної науки далеко не завжди є ознакою її недостатньої «науковості», частіше - це наслідок складності, недостатнього пізнання її предмета. Математика має справу зі спрощеним описом явищ. По суті будь-яка формула може розглядатися як певний етап в побудові математичної моделі. Досвід показує, що побудувати математичну модель(написати рівняння) є достатньо нескладною справою, але досить непросто в цій модельній формі передати змістовну сутність досліджуваного явища.

Знакові моделі являють собою *реальні моделі, які мають абстрактний зміст*. Загальна їх схема конкретизується та поглиблюється, зокрема в таких науках, як теорія інформації, радіотехніка, теорія управління. Ці науки використовують специфічні моделі умовної подібності, які застосовуються в технічних пристроях без участі людини. Такі моделі отримали назву *сигналів*.

Моделі умовної подібності, які створюються і використовуються безпосередньо людиною, називають *знаками*. Відповідна галузь знань, що вивчає такі моделі, отримала назву *семіотики* (від грецького «знак»).

В залежності від аспектів (мети) дослідження та носія інформації знакові моделі можна умовно віднести до матеріальних у тому випадку, коли і носій інформації, і відображуваний об'єкт мають матеріальну форму (карти місцевості); до абстрактних такі моделі можна віднести у випадку, коли носій інформації та (або) відображуваний об'єкт представлені абстрактно (символи для позначення цифр, системи рахунку, абетка).

У зв'язку зі швидким розвитком і поширенням інформаційних технологій, геоінформаційних систем дедалі більшого значення набувають моделі даних, що являють собою певне уявлення про предметну область у вигляді позначення даних та зв'язків між ними. Для того, наприклад, щоб повністю відобразити всі геооб'єкти реального світу та всі їх властивості, необхідно була б нескінченно велика база даних. Але на основі застосування таких прийомів, як генералізація та абстракція, вдається привести таку нескінченну множину інформації до кінцевого обсягу, що значно полегшує аналіз та управління (рис. 14.3).



Малюнок 14.3. Класифікація знакових моделей

Способи втілення моделей безпосередньо стосуються такого питання, як мова (вираз, виклад) сучасних моделей. Доцільно назвати такі головні *форми представлення* моделей:

- графічне представлення у вигляді графіків, діаграм, схем, креслень; самостійне значення таких форм є досить обмеженим, вони переважно використовуються як доповнення, ілюстрації до інших способів моделювання;
- словесний опис (вербальна форма) є одним з найпростіших неформальних способів представлення моделей; він доступний для розуміння, але неоднозначний та має обмежене застосування, зазвичай на початкових етапах створення моделі;
- блок-схеми, матриці рішень - один з найпоширеніших способів опису моделі, використовується на «проміжних» етапах створення моделі - між її словесним і математичним описом;
- математичний опис -- у вигляді формул і математичних операцій над змінними; до цього виду належать алгоритмічний опис, який може застосовуватися для представлення моделі об'єкта, який не має аналітичного опису, або у випадку, коли аналітичний спосіб вирішення задачі є надмірно складним, або застосовується при підготовці опису моделі для її машинного програмування;
- програмний опис - придатний безпосередньо для введення до обчислювальної машини; такий опис може представлятися як безпосередньо в кодах, так і в одній із алгоритмічних мов (у такому випадку алгоритмічна форма математичного опису та програмний опис можуть співпадати).

14.4. Процес моделювання

Процес моделювання уявляється як сукупність операцій, процедур, засобів, станів, що спрямовані на створення, використання, дослідження та вдосконалення моделей. В узагальненому вигляді процес моделювання можна представити як логічну єдність послідовно здійснюваних етапів.

I етап - змістовний опис (характеристика) об'єкта: склад, структура, функції, залежності (зв'язки), кількісні параметри, тенденції, закономірності розвитку. Здійснення цього етапу відбувається через призму загальної задачі та предметної області дослідження.

II етап - формулювання мети створення моделі: загальна ідея дослідження, мета формалізації (моделювання), визначення та конкретизація задач, вирішення яких забезпечить повноцінне досягнення мети дослідження.

III етап - побудова формалізованої схеми (графічної моделі) об'єкта, вибір характеристик і параметрів, які потребують формалізації.

IV етап - перетворення схеми в модель на основі застосування одного або декількох методів (математичних, графічних, аналітичних і т. ін.).

V етап - оперування моделлю: отримання за допомогою моделі необхідної (передбаченої метою) інформації про реальний об'єкт, перевірка моделі шляхом введення реальних показників, перевірка моделі в дії, експеримент з моделлю.

VI етап - вдосконалення моделі: внесення коректив, переробка, зміна моделі за результатами її перевірки та співставлення з реальним об'єктом.

VII етап - розрахунок та вибір оптимального варіанта моделі і обґрунтування на цій основі оптимальних параметрів функціонування реальної системи, розробка програм, проектів, планів.

Потрібно зауважити, що в залежності від мети дослідження, змісту та властивостей реального об'єкта, виду, способу втілення та методу моделювання кількість, зміст і навіть послідовність вказаних етапів може змінюватися.

У процесі створення моделі необхідно витримати оптимальне співвідношення між двома «спокусами» (крайнощами): спокуса над - ускладнення та спокуса надмірного спрощення моделі. Переускладнення може бути наслідком прагнення дослідника досягти більшої подібності моделі до оригіналу. Але таке прагнення приводить до перевантаження, «засмічення» моделі несуттєвими подробицями, факторами, обмеженнями, що затіняють «сутність» властивості моделі і, таким чином, істотно перешкоджають отриманню необхідної інформації як про саму модель, так і про реальний об'єкт дослідження. Надмірне спрощення моделі приховує небезпеку «не помітити», втратити суттєві риси реального об'єкта, що в підсумку приводить до неадекватного його відображення та спотворення результатів дослідження, яке у такому випадку втрачає сенс. Очевидно, що питання про доцільну міру подібності моделі і оригіналу не має однозначного, універсального вирішення. Ця міра залежить, передусім, від характеру проблеми та пізнавальної мети, яка досягається за допомогою конкретної моделі. Безсумнівним є те, що модель перестає бути власне моделлю як у випадку повної тотожності з оригіналом, так і у випадку надмірної відмінності від нього. Тобто дослідження певних властивостей модельованого об'єкта реалізується в моделі ціною відмови від відображення в ній інших сторін, які об'єктивно притаманні об'єкту, але в конкретному випадку не є метою (предметом) дослідження. Таким чином, модель заміщує оригінал лише в певному (обмеженому) розумінні. В процесі підготовки та безпосереднього створення моделі необхідно враховувати і дотримуватись цілої низки *вимог*, які висуваються до моделі і яким вона повинна відповідати. Ці головні вимоги полягають в наступному.

1. *Повнота, адаптивність та еволюційність* - модель має забезпечити можливість включення достатньо широкого діапазону змін і доповнень з метою послідовного наближення до такої моделі, яка б задовольняла дослідника в точності та детальності відтворення об'єкта.
2. *Абстрактність* - модель повинна допускати можливість багатоваріантного застосування достатньо великої кількості змінних (характеристик), але вона не може бути настільки абстрактною, щоб виникали сумніви в надійності і практичній корисності отриманих в результаті її використання результатів.
3. Задоволення умов, що *обмежують час*, впродовж якого вирішується дослідницька задача. З одного боку, цей час визначається періодом (ритмом, циклом) існування реального об'єкта, з іншого - прагненням до економії часу, засобів та прагненням до ефективності, «рентабельності» дослідження.
4. Орієнтація на можливість втілення (реалізації) моделі на основі існуючих на даний момент *технічних засобів*, тобто модель має бути фізично здійсненою на даному рівні розвитку техніки.
5. Достатня *інформаційність* - модель має забезпечити отримання корисної інформації про об'єкт в контексті мети та задач дослідження.
6. Побудова моделі має здійснюватися на основі використання науково коректної, загальновизнаної *термінології* та спеціальної (фахової) мови.
7. *Істинність* - в моделі обов'язково має бути закладена можливість перевірки її істинності, достатньої її відповідності оригіналу. Формальна перевірка полягає в порівнянні відповідних властивостей, параметрів оригіналу та моделі, що передбачає наявність діючого оригіналу. Коли діючого оригіналу не існує (прогнозний, проектний об'єкт), перевірку можна здійснити шляхом співставлення структур оригіналу та моделі без експериментальної перевірки.

Контроль за дотриманням таких вимог до моделі має здійснюватись на кожному з перелічених етапів моделювання та з врахуванням умови оптимального співвідношення простоти і складності моделі.

14.5. Системні принципи моделювання

В сучасних умовах переважна більшість моделей у найрізноманітніших галузях науки і практичної діяльності створюється на основі системних уявлень і принципів. Системне моделювання базується на таких головних методологічних положеннях:

- представлення об'єкта або процесу у вигляді системи;
- створення моделі об'єкта у вигляді системи;
- застосування системного підходу та системного аналізу до вивчення та використання створеної моделі;
- оптимізація «моделі-системи» для оптимізації «об'єкта-системи». Для реалізації таких положень застосовують наступні принципи (правила) моделювання.

1. *Компроміс* між очікуваною точністю результатів моделювання і складністю моделі. Можливості ускладнення моделі обмежуються її вартістю і часом, що необхідний для створення, а точність визначається вимогами дослідження. В процесі створення моделі відшукується доцільний компроміс між ними.

2. *Баланс точності*, який виявляється, зокрема, в таких аспектах:

- а) співмірність систематичної похибки моделювання з випадковою похибкою в завданні параметрів опису;
- б) відповідність точностей окремих елементів моделі;
- в) відповідність систематичної похибки моделювання і випадкової похибки при інтерпретації та усередненні результатів. З вимоги балансу точності витікає *практичне правило*, яке відображає ту обставину, що при порівняльному дослідженні варіантів системи шляхом зменшення випадкових похибок досягається компенсація неточностей в процесі завдання параметрів опису: *необхідно прагнути до паралельного моделювання конкуруючих варіантів проектованої системи з оцінкою відмінності (різниці, співвідношення) відповідних показників*.

Перший і другий принципи можна розглядати як деякі узагальнені (наближені) критерії правильності створення моделі. Проте їх реалізація можлива лише у випадку, коли система елементів моделі в достатній мірі гнучка і дозволяє здійснювати багато варіантів для пошуку потрібного компромісу.

3. Достатня *різноманітність* елементів моделі, що зможе забезпечити знаходження варіанту, який забезпечив би компроміси, передбачені першим та другим принципами цього переліку

4. *Наочність моделі* як для дослідника, так і для споживача (замовника) - модель, яка є звичною, «зручною» для дослідника, забезпечує і отримання більш вагомих результатів, ніж менш наочна модель,

5. *Блочне представлення моделі* - фактично це є структуризація системи, декомпозиція та уявлення її у вигляді підсистем - блоків (у відповідності з метою дослідження це можуть бути структурні, функціональні, процесуальні блоки - підсистеми). Блочне представлення повинне: а) мінімізувати обсяг потоків інформації між блоками; б) виключити «несуттєві» блоки, що несуттєво впливають на інтерпретацію результатів моделювання. Ці правила дають можливість «зменшити» залежність між блоками моделі та забезпечити можливість здійснення «поблочного» моделювання, що можна розглядати як один з випадків принципів декомпозиції та дезагрегації.

Особливістю блочного представлення моделі є необхідність при спрощенні моделі враховувати не тільки прямий вплив блоків на модельовану систему, а й зворотні зв'язки в системі. Це зумовлює інколи необхідність багатократно повторювати одні й ті самі процеси моделювання, перебираючи варіанти взаємовпливу, для імітації двосторонньої взаємодії.

6. *Спеціалізація* моделей - доцільність використання відносно невеликих і нескладних умовних підмоделей, що призначені для аналізу системи в цілому (як об'єкта моделювання) в достатньо вузькому діапазоні умов. Він також створює передумови для неформалізованої оцінки про систему в цілому на основі сукупності часткових показників, які отримують через часткові моделі (підмоделі).

Тут важливо деталізувати дві сторони процесу створення моделей: послідовне спрощення та послідовне ускладнення моделей. Послідовне об'єднання елементів опису в блоки створює модель, яка є зручною для програмної реалізації та експериментів. Відповідно до першого принципу спрощення має обмежуватися максимально допустимою величиною розбіжності між описом і моделлю, що визначається під кутом зору критерію інтерпретації результатів моделювання. Використовуючи поняття повної моделі на основі другого принципу, можна вважати, що розбіжність між повною та спрощеною моделями буде несуттєвою, якщо ця розбіжність знаходиться в певному діапазоні допусків, що визначається як статистичним розмахом значень результатів, так і помилками при визначенні вихідних параметрів опису.

Перевірку відповідності між частковою і повною моделями доцільно здійснювати за ознакою зростання подібності результатів, які отримуються на моделях зростаючої складності. Це правило реалізується

шляхом початкового максимального спрощення моделі до стану, що гарантує експериментальне дослідження. Далі від цього рівня здійснюється послідовне ускладнення моделі в межах допустимих обчислювальних обмежень, таке ускладнення повинне супроводжуватися експериментальним дослідженням розбіжностей на кожному етапі ускладнення моделі. Перед використанням кожного кроку необхідно умова закінчення етапу (процесу) ускладнення, якою є раціональна величина приросту ускладнення на кожному етапі.

1 4.6. Методи моделювання систем

Питання класифікації методів побудови моделей багато в чому співпадає з класифікацією способів втілення моделей [14, с. 93]. Це дає підстави для найбільш узагальненого поділу методів моделювання на такі ж групи: фізичні, графічні, словесні (вербальні), математичні, імітаційні, кібернетичні та експертні. Кожна з цих груп методів, в свою чергу, поділяється на значну кількість конкретних методів і методик, що застосовуються для вирішення специфічних задач.

У сучасних умовах для створення моделей зазвичай застосовують поєднання декількох методів, які, доповнюючи один одного, сприяють досягненню мети моделювання. Доцільність та ефективність одночасного застосування декількох методів обумовлюється, передусім, складністю реального об'єкта та метою його дослідження. Застосування будь-якого методу має здійснюватися відповідно до загальнометодологічного розуміння наукового пізнання. В зв'язку з цим доцільно звернути увагу на *такі категорії, як мета, критерій, фактор, аналіз (декомпозиція), агрегування*. Саме ці категорії є атрибутивними (невід'ємними) для будь-якого методу моделювання.

Мета розглядається людиною як суб'єктивний образ (уявлення) ще не існуючого, але бажаного стану об'єкта, процесу, середовища. Формулювання мети - це наріжний камінь наукового дослідження (моделювання). Саме від того, наскільки коректно, аргументовано та обґрунтовано визначена мета, буде залежати ефективність і результативність дослідження. В процесі створення моделі мета може бути неодноразово уточнена та відкоригована відповідно з нової інформації про властивості модельованого об'єкта, яка отримується вже безпосередньо в процесі моделювання. «Мета» має дати відповідь на питання «навіщо потрібна модель?» Формулювання мети одночасно вказує і напрямок її досягнення. Після попереднього формування мети визначають загальні параметри моделі, перелік задач, вирішення яких забезпечить досягнення мети; критерії та обмеження в процесі моделювання.

Критерій розглядається як деяка подоба мети, своєрідна формальна «модель» мети, він є своєрідним виміром придатності моделі як засобу досягнення мети. Важливе значення мають фактори, які визначають стан об'єкта, в процесі моделювання постає проблема відбору факторів: потрібно «відсіяти» несуттєві та залишити найбільш суттєві фактори. Іншою вимогою до факторів є необхідність їх кількісної визначеності та можливості кількісної оцінки.

В процесі моделювання біль-менш складного об'єкта жоден метод не може уникнути такої операції, як *декомпозиція*, тобто уявного поділу (розчленування) реального об'єкта на частини (підсистеми) відповідно до мети дослідження (моделювання). Під час цієї операції реальний об'єкт «розбивається» на частини, цілі - на підцілі; задачі - на підзадачі. Такий «поділ» може неодноразово повторюватися, створюючи своєрідну ієрархію структур, цілей, задач. Тут потрібно звернути увагу на таку цікаву обставину: в процесі попереднього поділу (декомпозиції) створюється попередня модель, яку називають моделлю-оснотою, вона являє собою узагальнене, укрупнене уявлення досліджуваного об'єкта, його зв'язків з середовищем. Ця «модель - основа» і є своєрідним вихідним (початковим) кроком моделювання, надалі вона наповнюється реальним змістом, що дозволяє виконувати декомпозицію. Глибина деталізації моделі визначається, передусім, метою дослідження, декомпозиція моделі має бути закінчена у випадку, коли вона приводить до результату, що не вимагає подальшого розкладу. Такий результат називають елементарним.

Якщо в результаті декомпозиції розкривають структуру системи, то її функції і механізми пізнають в результаті *агрегування* (умовне об'єднання частини у ціле), що ґрунтується на використанні моделей частини системи, отриманих в результаті декомпозиції. В процесі агрегування встановлюються взаємовідносини, взаємодія між частинами, частковими моделями, що потребує вирішення великої кількості конкретних задач.

У зв'язку з тим, що в п. 14.3 загалом охарактеризовані способи представлення моделей, доцільно зупинитися на тих методах, які не знайшли там висвітлення та є найбільш поширеними в сучасних умовах.

Методи *імітаційного моделювання* являють собою імітацію структури та поведінки реальної системи зазвичай за допомогою електронно-обчислювальних машин. Цей метод застосовується у випадках неможливості аналітичного вирішення задачі та неможливості (недоцільності) проведення, експерименту на реальній системі. Головними рисами імітаційного моделювання є постійна взаємодія (діалог) людини та ЕОМ, достатньо точне відтворення механізму функціонування об'єкта, здійснення модельних експериментів. Застосування імітаційних моделей дає, зокрема, такі переваги:

- отримати інформацію про різні аспекти (сторони) функціонування реальної системи;
- дослідити залежність кінцевих результатів роботи системи від її характеристики (властивості), оптимізувати таким чином реальну систему;
- дослідити стійкість поведінки системи під впливом зовнішніх і внутрішніх збурень.

Недоліками імітаційного моделювання є: велика складність, праце місткість, ймовірність проникнення в модель суб'єктивних оцінок, високі вимоги до кваліфікації програміста, який повинен володіти високим фаховим рівнем у відповідній галузі моделювання (наукового дослідження).

Методи *математичного моделювання* базуються на тій обставині, що різноманітні за своїм змістом (якістю) об'єкти і явища можуть мати однаково математичне вираження. При побудові математичної моделі реальний об'єкт неминує спрощується (схематизується), створена схема (макет) об'єкта описується за допомогою певного математичного апарата. Від вдалого підбору типу математичної моделі (її адекватності) залежить великою мірою ефективність дослідження, досягнення його мети. Математична модель може бути представлена у вигляді сукупності рівнянь, нерівностей, логічних умов, що виражають залежності суттєвих характеристик модельованої системи. Загалом процес математичного моделювання вкладається в такі етапи:

- змістовний опис об'єкта або процесу, коли виявляються головні складові системи, її закономірності, визначення кількісних значень відомих характеристик і параметрів системи;
- формулювання прикладної задачі або задачі формалізації змістовного опису системи; прикладна задача містить в собі виклад ідей дослідження, головних залежностей та формулювання питання, вирішення якого досягається через формалізацію системи;
- побудова формалізованої схеми об'єкта або процесу, що передбачає вибір головних характеристик і параметрів, які будуть використані при формалізації;
- перетворення формалізованої схеми в математичну модель, коли йде створення або підбір відповідних математичних функцій.

Після створення математичної моделі настає її випробування, застосування для дослідження деякого реального процесу. При цьому спочатку визначається сукупність початкових (вихідних) умов та шуканих величин. Тут існує декілька способів роботи з моделлю: аналітичне дослідження, застосування числових методів вирішення, комп'ютерне моделювання.

Кібернетичне моделювання базується на формальному відображенні систем та їх складових за допомогою понять «вхід» та «вихід», які характеризують зв'язки елемента (системи) з середовищем. Кожний елемент характеризується певною кількістю входів і виходів. Потoki речовини, енергії та інформації впливають на входи елемента, формують його внутрішній стан та забезпечують функціонування на «виходах». Кібернетична «модель — система», як і реальна система, має володіти такими властивостями як: а) мати певний рівень впорядкованості; б) бути інформаційною; в) бути керованою за принципом зворотного зв'язку.

Значну методологічну роль в кібернетичному моделюванні відіграють поняття «чорної», «білої» та «сірої» скриньки. Під «чорною» скринькою розуміють кібернетичну систему (об'єкт, процес, явище), про внутрішню структуру та організацію якої спостерігач (дослідник) не має жодних відомостей, але є можливість впливати на систему через її «входи» та реєструвати її реакцію на «виходах». Дослідник маніпулює «входом» та фіксує результати на виході, фіксує результати, що дає можливість зрозуміти внутрішню будову

«скриньки». В результаті такого дослідження отримується деяка інформація про «вміст скриньки» і в такому випадку її називають «сірою». У тому випадку, коли спостерігач має повне уявлення про вміст і зміст об'єкта, його будову і механізм перетворення сигналу, такий об'єкт називають «білою» скринькою.

Методи експертних оцінок полягають в створенні «моделі-основи» шляхом використання та узагальнення інформації про реальний об'єкт (процес), що базується на основі досвіду та інтуїції фахівців відповідної галузі. Їх суть полягає в зборі, узагальненні та аналізі інформації (оцінок) провідних фахівців (експертів), на основі чого створюється абстрактна модель. Найтипівішим серед експертних методів є «мозкова» атака, «метод «Дельфі», метод сценаріїв, які широко застосовуються в прогностичному моделюванні (див. розділ 13).

Створена таким чином модель в подальшому може бути піддана випробуванню та дослідженню за допомогою інших методів (графічних, математичних і т.ін.).

Запитання для самоконтролю

1. *У чому сутність моделювання як засобу наукового пізнання?*
2. *Які особливості моделей?*
3. *Які існують підходи до класифікації моделей?*
4. *Як поділяються моделі стосовно:*
 - 4.1. *Методи дослідження?*
 - 4.2. *Відображення властивостей об'єкта?*
 - 4.3. *Способів втілення?*
5. *Назвіть ознаки класифікації абстрактних, знакових та матеріальних моделей.*
6. *Які основні етапи моделювання?*
7. *Яким вимогам має відповідати модель?*
8. *Назвіть принципи системного моделювання.*
9. *Поясніть проблему «простота - складність» моделі?*
10. *У чому сутність головних методів моделювання?*

15.1. Поняття управління

Сучасний рівень наукової розробки теоретичних положень управління свідчить про те, що вчені не дійшли до єдиного однозначного визначення категорії управління. Аналіз більшості відомих визначень цієї категорії показує, що вони відображають, як правило, одну або декілька рис чи особливостей процесу управління. Найбільш узагальнене поняття управління вироблене кібернетикою. Хоча потрібно мати на увазі, що поняття управління в біології, соціології, техніці сформувалось задовго до виникнення кібернетики. Але неоціненна роль кібернетики і полягає саме в тому, що вона розкрила і обґрунтувала загальні риси, які притаманні процесу управління в усіх сферах, стосовно всіх об'єктів.

Свідоме управління здійснюється лише в складних цілісних системах, які при цьому розглядаються в декількох аспектах: системно-комплексному, системно-структурному, системно-функціональному, системно-інтегративному. Велике розмаїття систем зумовлює специфіку вияву процесу управління в них. Тому дати узагальнююче визначення поняття «управління», яке відображувало б істотні риси цього процесу в різноякісних системах, досить складно. Існуючі визначення, які більш-менш адекватно відображають його суть в системах одного роду (наприклад природних), далеко не завжди відображають його істотні риси іншого роду систем (наприклад соціальних). У зв'язку з цим, очевидно, доцільно погодитись з думкою про те, що немає сенсу ставити за мету винайти «гладеньке» визначення досліджуваного поняття в декілька рядків, бо такі визначення можуть володіти достатньою адекватністю тільки тоді, коли вони спираються на монографічний виклад, який уточнює всі поняття, що входять до цієї категорії та характеризують не враховані в явному вигляді сторони і особливості об'єкта.

У найбільш загальному вигляді наукове управління можна означити як *процес* досягнення заданого (завчасно визначеного) стану певного об'єкта у певний період часу в результаті впливу на нього за допомогою необхідних засобів з боку суб'єкта.

Насамперед кібернетикою встановлено, що управління здійснюється не в будь-яких, а лише в досить складних рухливих системах, для яких властиві нелінійні причинно-наслідкові залежності, які здатні переходити з одного стану до іншого. Саме такими системами є рослинні і тваринні організми, суспільство в цілому та притаманні йому різного роду підсистеми. За характером та способами управління системи поділяються на такі, що управляються ззовні, самокеровані та системи з комбінованим управлінням (рис* 15.1).



Малюнок 15.1. Класифікація керованих систем (за Ю. П. Котиковим)

Різновидом управління є регулювання, що полягає в забезпеченні досягнутого в результаті управління певного стану (структури, параметрів, функцій) об'єкта. Це здійснюється на основі виявлення відхилень системи (об'єкта управління) від заданої траєкторії та відповідного впливу на систему для повернення її до заданої траєкторії. В регулюванні виділяються такі завдання, як стабілізація, програмне регулювання та спостереження [18, с. 239]. Метою *стабілізації* є підтримання заданого постійного стану об'єкта регулювання. Стабілізація здійснюється за допомогою відповідних механізмів (технічних, нормативних, юридичних, етичних). *Програмне регулювання* полягає у досягненні

певних змін в параметрах (структурних, функціональних) об'єкта, що не приводять до зміни його якісного стану в цілому. Такого роду завдання вирішуються у випадку виникнення раніше не існуючих чинників (обставин), що певним чином «спотворюють» задану траєкторію об'єкта. *Спостереження* полягає в тому, що програма поведінки (траєкторії) об'єкта не визначається заздалегідь, а виробляється в залежності від його поведінки, яка оцінюється на основі спостереження.

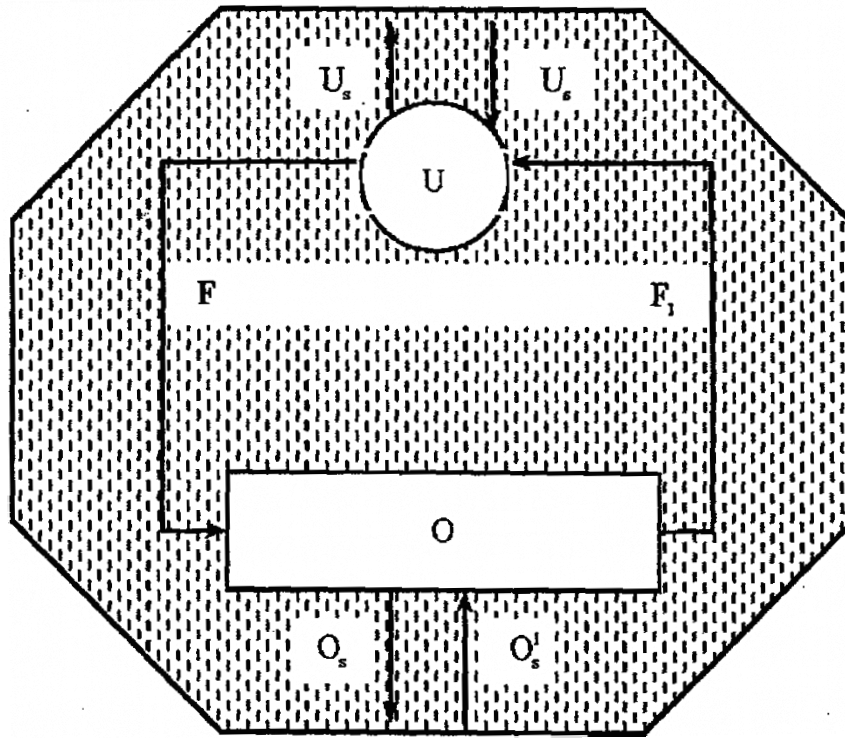
Загальною рисою процесів управління, незалежно від суті та специфіки конкретного об'єкта, є їх *антиентропійний характер*. Кібернетика встановила спільність процесів управління, яка полягає в тому, що де б ці процеси не відбувалися, всі вони характеризуються точною кількісною мірою - зменшенням ентропії. Управління - це процес протилежний ентропії і дезорганізації системи, він спрямований, насамперед, на підвищення стійкості системи, збереження її якісної визначеності, на вдосконалення системи з метою досягнення раніше заданого результату.

Управління складними системами ускладнюється тим, що функціонування такого роду систем здійснюється в умовах постійних змін внутрішнього і зовнішнього середовища. Звідси завдання управління полягає в тому, щоб найбільш доцільно впливати на ці зміни, що досягається за рахунок своєчасної і ефективною перебудови структури системи (об'єкта) відповідно до нових умов.

У керованих системах завжди наявний орган, що здійснює функцію управління, тобто *суб'єкт управління*, та керована частина (якою керує суб'єкт), тобто *об'єкт управління* (рис. 15.2).

Будь-яка система знаходиться під впливом зовнішнього середовища, вплив якого можна оцінити кількісно і назвати вхідними величинами, а елементи системи, до яких прикладені вхідні впливи, називають *входами* системи. На стан системи впливають також внутрішні зміни, що виникають у самій системі. В управлінні розрізняють два види вхідних величин: управляючий вплив і збурюючий вплив. До управляючого впливу належать такі дії, які спрямовують рух системи в заданому напрямі. До збурюючого впливу належать такі чинники, які неможливо змінити в процесі управління, тобто це об'єктивні для системи обставини, до яких необхідно пристосуватись. Вплив системи на середовище характеризується значеннями *вихідних* величин, сукупність яких дає змогу суб'єкту управління визначити відповідність отриманих результатів з цілями (метою) управління (рис. 15.2).

Процес управління є власне впорядкуванням системі з метою збереження її якісної визначеності шляхом переведення її з одного стану до іншого. Тому впорядковуючий вплив по суті є приведенням у відповідність з притаманними їй закономірностями і тенденціями, що характеризують цю якісну визначеність. Це дало підстави стверджувати, що управління — це впорядкування системи, тобто, приведення її у відповідність з об'єктивною закономірністю, що діє в даному середовищі.



- U— керуюча підсистема (суб'єкт);
- O — керована підсистема (об'єкт);
- ▨ — зовнішнє середовище самокерованої системи;
- F, F₁— прямі і зворотні зв'язки між суб'єктом і об'єктом;
- U_s, U_s —прямі і зворотні зв'язки керуючої підсистеми з середовищем;
- O_s, O_s — прямі і зворотні зв'язки підсистеми з середовищем.

Малюнок 15.2. Схема самокерованої системи

Невід'ємним атрибутом управління є інформація як форма управляючого впливу, яка є не настільки сильною, щоб зруйнувати систему, і в той же час достатньою для досягнення необхідних змін в стані системи. Під інформацією розуміють відомості про оточуючий світ, про внутрішній стан системи та зовнішні умови. Ці відомості є необхідною умовою здійснення управляючого впливу. Саме кібернетика довела нерозривну єдність процесів управління та інформації. Науково обґрунтоване здійснення процесу управління передбачає такі дії: збір інформації про стан системи (об'єкта) та її зовнішнього середовища; передачу цієї інформації до місця її обробки; здійснення обробки і переробки цієї інформації з метою вироблення команд управління; передача виконавчому органу розпорядчої інформації; здійснення безпосередніх дій (заходів) з впорядкування системи; здійснення контролю і спостереження. Однією з найістотніших ознак процесу управління є неперервна циркуляція інформації як між системою і її середовищем, так і між складовими частинами системи. Саме в результаті такого обміну інформацією зберігається стійкість, цілісність системи.

Ще однією істотною рисою процесу управління є наявність в системі зворотних зв'язків, які є принциповою умовою отримання керуючою системою інформації про ефект, який досягається в результаті певного управляючого впливу, про досягнення чи недосягнення мети. Невідповідність між фактичним та заданим станами системи є тим коригуючим сигналом, який викликає таку перебудову системи, щоб вона функціонувала в заданому режимі (напрямі).

Стосовно живих організмів зворотний зв'язок часто називають «звотною аферентацією» або «санкціонуючою аферентацією». Живий організм зберігає свою цілісність лише тому, що керуючий орган — нервова система — має постійну інформацію про відхилення від норми його життєво важливих функцій.

Отримавши негативну інформацію, цей орган приводить в дію відповідні механізми і тим самим забезпечує усунення цих відхилень, відновлення нормального стану системи.

Аналогічним чином функціонує і кібернетична система, управління якою здійснює спеціальний апарат (електронний пристрій). Інформація про кінцевий ефект управління каналами зворотного зв'язку надходить до цього пристрою, проходить через його перетворювачі та вмикає виконавчі елементи. В результаті досягається нормальне функціонування системи, досягнення заданої мети.

Самокерована система внаслідок наявності в ній прямих (від керуючої підсистеми до керованої) та зворотних (від керованої до керуючої) зв'язків функціонує по замкнутому циклу: кожна команда керуючої підсистеми приводить до певного ефекту, який, в свою чергу, створює зворотний вплив на керуючу підсистему. В результаті цього керуюча підсистема завжди поінформована не лише про стан компонентів керованої підсистеми, а й про ефективність управляючого впливу, а це є необхідною умовою негайного коригування і збереження тим самим динамічної рівноваги системи, її найбільш ефективного функціонування.

Принцип зворотних зв'язків знаходиться в єдності з такою важливою особливістю управління, як цілеспрямованість, оскільки через канали зворотного зв'язку в керуючу підсистему надходять сигнали про досягнення чи недосягнення мети; отримання чи неотримання запрограмованого корисного ефекту. Зворотні зв'язки, таким чином, виступають як засіб доцільного функціонування системи, забезпечення досягнення поставленої перед системою мети.

Найвищою кінцевою метою управління є оптимізація функціонування системи в заданих умовах внутрішнього і зовнішнього середовища та конкретних її цілях. Оптимальний стан системи передбачає досягнення найбільшого корисного ефекту при найменших зусиллях і затратах та при збереженні структури, функцій і якісної визначеності системи.

Процес управління передбачає послідовне здійснення певних операцій та дій для досягнення мети розвитку об'єкта, які складають цикл управління. Цикл управління уявляється як послідовне здійснення таких стадій: вивчення об'єкта управління, визначення цілей управління; передбачення і оцінка поведінки об'єкта в майбутньому (прогнозування); прийняття рішення і засобів досягнення мети (планування), вивчення і оцінка наслідків управляючого впливу та регулювання поведінки об'єкта. З органічно взаємозв'язаних, послідовно повторюваних циклів складається процес управління.

Таким чином, кібернетика розкрила загальні закономірності процесу управління, які відбуваються не в усіх, а лише в складних динамічних системах з причинно-наслідковими зв'язками; довела антиентропійну спрямованість управління; підкреслила єдність управління та інформації показала, що необхідним атрибутом самокерованої системи є зворотні зв'язки; вказала на доцільний характер управління; обґрунтувала загальну мету управління, його ідеал — оптимізацію системи.

15.2. Об'єкт управління як система

Головним змістом управління є впорядкування об'єкта (системи), тобто досягнення такого її стану, який би в найбільшій мірі відповідав як об'єктивним тенденціям і закономірностям його внутрішнього розвитку, так і умовам зовнішнього середовища. Це відбувається не під впливом якихось особливих «надсистемних» сил, а за рахунок внутрішньої організації самої системи. Тобто самокерована система складається з керуючої підсистеми (суб'єкт управління) і керованої підсистеми (об'єкт управління).

Важливою умовою ефективного управління є визначення та відмежування об'єкта — певної системи. Щоб успішно керувати, потрібно знати, чим саме керувати. Для цього необхідно дослідити об'єктивно існуючу систему (об'єкт управління), її границі і структуру, тенденції і закономірності розвитку, механізм взаємодії компонентів, взаємозв'язки із зовнішнім середовищем, визначити кількісні параметри її функціонування. Це описовий етап, від якого у великій мірі залежить ефективність управління системою. Тобто потрібно здійснити аналіз об'єкта управління.

Оскільки процес управління розглядається як сукупність взаємопов'язаних операцій (аналіз — прогноз — план — рішення), то стадія аналізу об'єкта управління повинна бути у великій мірі зорієнтована на

наступні стадії, насамперед, на стадію прогнозування. Тобто попереднє вивчення (аналіз) об'єкта управління виступає своєрідною передумовою прогнозу його поведінки. Метою аналізу об'єкта управління є виявлення основних параметрів його структури і функцій, а також діагноз, який визначає міру відповідності характеристики об'єкта з метою управлінського впливу та засобам її досягнення.

В процесі аналізу об'єкта управління вирішуються такі завдання:

- формування початкового опису об'єкта;
- попереднє визначення завдань, вирішення яких забезпечить досягнення мети управляючого впливу;
- визначення тенденцій, залежностей в функціонуванні об'єкта, які в подальшому будуть використані у процесі прогнозування.

Первинний, загальний опис об'єкта управління повинен містити відомості про найбільш загальні його показники (характеристики), про ймовірні лімітуючі умови його розвитку, про ймовірність постановки тих чи інших цілей управління. Важливою складовою опису об'єкта є детальне вивчення його структури (складу і взаємозв'язку елементів та їх параметрів) та зовнішнього середовища (факторів, умов), в якому функціонує об'єкт.

Деталізація структури об'єкта можлива за допомогою двох основних методів:

- шляхом об'єднання часткових, дрібних характеристик у більш узагальнені (агрегування);
- послідовним поглибленням деталізації структури шляхом переходу від узагальнених характеристик до все більш детальних (деагрегація).

Агрегування, як спосіб вивчення структури, доцільно застосовувати у випадках досить складної структури об'єкта, тобто, коли вона характеризується великою кількістю показників та зв'язків, що або невідомі, або надто складні для безпосереднього аналізу. Деагрегацію доцільно застосовувати, коли об'єкт відносно невеликий та має не надто складну структуру, що дає можливість прослідкувати більшість суттєвих зв'язків між його характеристиками, або коли ці зв'язки настільки несуттєві, що ними можна знехтувати.

Поряд з уточненням структури та характеристик об'єкта управління визначаються зовнішні фактори, ступінь їх впливу на досягнення мети розвитку об'єкта.

Діагноз, як завершальний етап аналітичного опису об'єкта, поєднує в собі узагальнення та синтез попереднього його вивчення. Існує два підходи до синтезу попередньо отриманої описової інформації про об'єкт: функціональний та об'єктний. При першому підході за основу синтезованого структурного поділу обирається функціональна ознака. Другий підхід ґрунтується на поелементному поділі об'єкта на дрібніші об'єкти, кожний з яких потім можна розглядати як відносно автономний об'єкт управління відповідного рівня ієрархії. В залежності від змістовної природи об'єкта, його масштабів, мети аналізу іноді важко віддати однозначну перевагу або структурному, або функціональному принципу структуризації. В таких випадках застосовують змішаний, об'єктно-функціональний підхід, який в різних співвідношеннях поєднує переваги кожного з названих підходів.

Теоретичною основою аналізу об'єкта управління насамперед виступає теорія систем і системний аналіз. Системний підхід цілком справедливо формулює один з наріжних принципів управління — принцип системності, що зумовлено, перш за все, масштабністю та складністю об'єктів управління в сучасних умовах. Наявність великої кількості взаємопов'язаних характеристик, що описують сучасні об'єкти та процеси їх розвитку в техніці, економіці, соціології та багатьох інших областях, об'єктивно змушує дослідника приводити їх опис (для аналізу, прогнозу, управління) до системного виду. Принципи (методи) агрегування показників, декомпозиції, ієрархії рівнів аналізу і виокремлення провідних показників дозволяють вирішувати завдання аналізу і синтезу складних об'єктів управління. Але ці ефективні методи є недоступними без системного підходу.

Велику роль в аналізі об'єкта управління відіграє теорія моделювання, застосування якої дає змогу створити його формалізовану (гносеологічну) модель. Такі моделі, наприклад, як економічні моделі затрат,

вартості, моделі зростання, балансові складають основу аналізу економічних об'єктів управління. Широке застосування мають також евристичні та інтуїтивні моделі.

При аналізі об'єкта управління необхідно застосовувати такі методологічні принципи.

1. Принцип системності — необхідність уявлення об'єкта управління як гносеологічної системи взаємозв'язаних характеристик об'єкта та його середовища з позицій цілей і завдань управління.
2. Принцип природної специфічності — обов'язкове врахування специфіки змістовної природи об'єкта управління, специфіки вияву закономірностей його функціонування, що дозволить уникнути помилок у передбаченні поведінки об'єкта в процесі управляючого впливу та застосувати адекватні й ефективні засоби такого впливу
3. Принцип оптимізації опису — досягнення таких описових характеристик об'єкта, які забезпечували б їх достовірність і точність при мінімальних затратах засобів і часу, виходячи із мети управління. Цей узагальнений принцип можна поділити на декілька часткових принципів оптимізації опису:
 - а) принцип оптимальної міри формалізації, що вимагає використання формалізованих моделей в таких доцільних співвідношеннях з неформальними способами, які забезпечили б достатню інформацію про об'єкт при мінімальних затратах на її одержання;
 - б) принцип мінімізації розмірності опису, який вимагає застосування мінімальної кількості показників, які при цьому забезпечили б достатню інформаційну базу для досягнення цілей управління;
 - в) принцип оптимального виміру показників — необхідність застосування для виміру кожного показника такої шкали, яка при мінімальних затратах забезпечувала б отримання достатньої для управління інформації.
4. Принцип аналогічності — необхідно порівнювати одержані в результаті аналізу конкретного об'єкта параметри (характеристики, змінні) з уже відомими схожими об'єктами чи моделями.

Системний підхід до вивчення об'єкта управління диктує необхідність класифікації таких об'єктів. Оскільки об'єкти управління є системами, то для їх класифікації можна застосовувати принципи і схеми, що наведені в розділі 9. Цілком очевидно, що до різних класів, типів, видів об'єктів потрібно застосовувати адекватні методи управління (аналізу, прогнозу і т. ін.).

15.3. Суб'єкт управління як система

У самокерованій системі суб'єкт управління являє собою відносно самостійну цілісність, що відрізняється специфічною структурою та функціями й має всі необхідні і достатні підстави розглядатися як підсистема цієї самокерованої системи. Управляюча (керуюча) підсистема своїм активним впливом об'єднує діяльність всіх частин об'єкта управління, який в той же час не є пасивним стосовно суб'єкта управління. Ці дві частини єдиної системи, впливаючи одна на одну, утворюють діалектичну єдність. При цьому потрібно мати на увазі, що керована система не може існувати без управляючої, і навпаки – керуюча система не може існувати без керованої.

При цьому суттєві властивості однієї підсистеми впливають на формування властивостей іншої, але вони відрізняються змістом своєї діяльності. Змістом діяльності, зокрема керуючої підсистеми, є управлінська праця, спрямована на виконання завдань всієї системи, на досягнення її кінцевих цілей.

Визначення структури та меж управляючої підсистеми залежить від елементного та функціонального поділу власне процесу управління. Елементом цієї підсистеми можуть бути вся установа цілком, певний відділ, сектор, окремий працівник. Головним чинником, що визначає цілісність елементів, є повнота та достатність виконання певної частини управлінського процесу.

Зв'язки між елементами в керуючій підсистемі зумовлені відповідними зв'язками між окремими функціями управління, між окремими складовими частинами загального процесу управління. В структурі керованої підсистеми, як правило, виділяють такі складові: елементи, ланки, відділення або органи. Наявність в керуючій підсистемі великої кількості елементів зумовлює необхідність «керувати управлінською працею» з метою забезпечення єдності відносно самостійних видів управлінської діяльності в складі керуючої підсистеми. При цьому, як правило, одна ланка не в змозі здійснювати керівництво всіма ін-

шими ланками управління. Тому відбувається поділ сукупності елементів на групи, на чолі кожної з яких буде своя ланка управління. В цьому полягає основа ієрархічної структури керуючих підсистем.

Таким чином, структуру системи управління можна визначити як форму поділу елементів (органів, ланок, рівнів) та їх взаємозв'язків, що певним чином ієрархічно організовані та пов'язані спільною управлінською діяльністю, спрямованою на підвищення ефективності функціонування (оптимізацію) керованої підсистеми. Кожний елемент керуючої підсистеми повинен забезпечити реалізацію певної частини сукупної управлінської діяльності для цього набуває (уповноважується) відповідних функцій, прав, обов'язків.

До головних функцій управляючої підсистеми доцільно віднести:

прогнозування, планування, впорядкування (організація), облік, контроль. По суті функції управляючої підсистеми і є відображенням її діяльності, яка являє собою здійснення власне процесу управління (циклу управління). А останній якраз і складається з таких частин (операцій, стадій), як аналіз, прогнозування, прийняття рішень та засобів їх втілення, контроль і регулювання. Тому зміст основних функцій керуючої підсистеми і полягає в здійсненні відповідних стадій управлінського циклу (процесу).

Прогнозування забезпечує можливість формувати варіанти ймовірного або бажаного розвитку керованої системи. Планування ґрунтується на результатах прогнозування і має на меті «усунути» розбіжності між дійсним та прогнозним (бажаним, заданим) станом об'єкта управління. План та засоби його втілення (програма) забезпечують збалансований, комплексний розвиток всіх елементів об'єкта (системи). Впорядкування (організація) забезпечує створення і оптимізацію органів (елементів) управління на основі відповідних управлінських функцій: побудова структури керуючої системи; формування структурних підрозділів і встановлення доцільного порядку і способу взаємодій між ними; форми субординації та координації і т. ін. Облік полягає в отриманні, обробці аналізі, систематизації про динаміку об'єкта управління та, власне, про ефективність діяльності суб'єкта управління. Контроль передбачає спостереження, перевірку відповідності між процесом розвитку об'єкта та засобами управляючого впливу. Облік і контроль взаємопов'язані між собою. Контроль відрізняється від обліку тим, що він передбачає одержання не лише кількісної, а й якісної інформації.

Особлива роль у функціонуванні управляючої підсистеми належить зв'язкам (відношенням) субординації та координації.

Відношення субординації виявляються у вигляді достатньо жорсткої вертикальної підпорядкованості одних (нижчих) елементів іншим (вищим) елементам управляючої підсистеми. Це відношення, зв'язки, підпорядкованість між елементами різних ієрархічних рівнів. Відношення координації — це свого роду «горизонтальна» взаємодія переважно однорівневих елементів суб'єкта управління, яка спрямована на досягнення узгодженості в досягненні мети розвитку об'єкта.

Субординація може мати лінійний та функціональний характер. Лінійна субординація передбачає пряме підпорядкування одному (вищому) декількох (нижчих) елементів управляючої підсистеми, але при цьому кожний підлеглий елемент має лише одного розпорядника. Функціональна субординація передбачає одночасне підпорядкування одного (нижчого) елемента декільком (вищим) елементам (розпорядникам). При цьому кожен з розпорядників має досить вузьку (спеціалізовану) функціональну компетенцію, тобто керує виконанням однієї з декількох специфічних функцій підлеглого елемента.

Розглянемо приклад. При лінійній субординації управління головною особою на підприємстві є директор, який керує всіма працівниками, але його розпорядження ідуть до робітника зверху вниз через всі рівні управлінських ланок (відділ — цех — ділянка — бригада). У робітника тільки один безпосередній керівник — бригадир. При функціональній субординації, прибічником якої був Ф. Тейлор, робітник може мати декілька розпорядників (майстрів, наприклад) одночасно, але кожен з них здійснює керівництво специфічною функцією: один — матеріально-технічним постачанням, другий — ремонтом устаткування, третій — зв'язками з іншими працівниками. В такому випадку майстер керує групою робітників, а кожний робітник підлеглий десятку майстрів.

Помітного поширення набув так званий змішаний лінійно-функціональний характер відносин в керуючій системі. Він передбачає поряд з лінійною підпорядкованістю елементів також функціональну підпорядкованість. Багато дослідників, спираючись на досвід практики управління, стверджують, що лінійно-функціональний тип управлінських відносин є найбільш раціональним. Проте, як свідчить практика, тут виникає небезпека дублювання функцій та неузгодженості дій різних елементів. У такій ситуації зростає роль відносин координації, які повинні запобігти цим негативним явищам.

Велике значення має оцінка ефективності управляючої підсистеми, від якої залежить розвиток суб'єкта управління та досягнення його кінцевої мети. В цьому випадку ефективність оцінюється в двох аспектах: по-перше, наскільки обґрунтовано визначені цілі і завдання розвитку керованої підсистеми та критерії їх досягнення; по-друге, наскільки адекватно і достовірно керуюча підсистема оцінює розвиток об'єкта у відповідності з цими критеріями. При цьому керуюча підсистема суттєво впливає на такі характеристики, як кінцевий результат діяльності об'єкта та величину затрат на досягнення цього результату

Виходячи з цього, основними критеріями оцінки ефективності суб'єкта управління є:

- ступінь впливу керуючої підсистеми на об'єкт, на досягнення мети його розвитку;
- ефективність функціонування власне об'єкта управління;
- передумови для успішного розвитку об'єкта в майбутньому, що створюються суб'єктом управління.

Загалом можна стверджувати, що ефективність керуючої підсистеми залежить від таких умов і факторів:

- а) ступінь дієвості комплексного впливу на об'єкт для оптимізації його багатоманітних внутрішніх зв'язків та відношень;
- б) структурна та функціональна впорядкованість власне керуючої підсистеми, продуктивність і ефективність діяльності;
- в) мінливість зовнішнього середовища об'єкта та ієрархічна підпорядкованість суб'єкта в системі управління вищого рангу

Важливе значення має кількісна оцінка якості управління (або самокерованої системи). Вибір кількісного показника якості системи управління зумовлюється, наприклад, метою управління та змістом і особливостями функціонування самокерованої системи. Для жорстких технічних систем є можливість застосувати однозначні формальні показники (нормативи), для складних систем такі показники неможливо визначити з огляду на певну ентропійність та стохастичність. В останньому випадку застосовують функціональні залежності (формули) або кореляційні залежності. Управління кожною конкретною системою потребує специфічних показників якості, які б найповніше відображали як мету управління, так і властиві системи.

Ефективність управління великою мірою залежить від надійності управляючої підсистеми, що полягає в її здатності зберігати суттєві властивості і функції на заданому рівні впродовж певного часу незалежно від змін середовища та самого об'єкта управління. Надійність системи виявляється в явищах відмови, тобто коли система «відмовляється» від виконання функцій через неможливість їх здійснення або в результаті непереборності зовнішніх чинників, або в результаті вичерпання свого внутрішнього потенціалу функцій. Відмова може бути поступовою або раптовою. Поступова відмова — поступові зміни параметрів системи, що знижують її працездатність (ефективність), раптова відмова — різка зміна (одномоментна) параметрів та припинення виконання звичних функцій. Показниками надійності можуть бути: тривалість безвідмовної роботи, частота відмовлень (порушень, збоїв), ймовірність відмовлень.

Отже, можна зробити висновок про те, що суб'єкт управління є підсистемою самокерованої системи; він володіє усіма необхідними і достатніми системними ознаками (структура, функції, ієрархічність, автономність і т. ін.); його діяльність цілком підпорядковується системним принципам; його вдосконалення здійснюється (має бути) на основі системних критеріїв оптимізації.

15.4. Системні принципи управління

В сучасному розумінні під принципами управління варто розуміти правила, вимоги, норми, яким повинна задовольняти керуюча підсистема для забезпечення ефективного розвитку об'єкта управління та

досягнення його мети. Принципи управління є виразом (відображенням) об'єктивних закономірностей утворення і розвитку підсистеми управління. В той же час вони враховують специфіку структури і функцій власне об'єкта управління, бо й сама керуюча підсистема у значній мірі є відображенням об'єкта управління. Принципи управління вже формально-логічно можна назвати системними принципами, оскільки вони відображають функціонування самокерованої системи, взаємодію керуючої та керованої підсистем цієї системи. Вони характеризують будову підсистеми управління, і зміни, суть управлінського процесу як системи (взаємопов'язані стадії, операції, процедури). Дотримання принципів є необхідною умовою виконання функцій управління, ефективного досягнення його мети. Принципи управління відіграють роль своєрідного компаса в складному сплетінні управлінських проблем. Ефективно управляти означає неухильно дотримуватися принципів управління, які визначають будову, формування, функціонування і розвиток керуючих систем.

Загальноприйнятим є поділ принципів управління на загально-методологічні та конкретно-управлінські. До загально-методологічних належать принципи об'єктивності, комплексності, конкретності, динамічності; до конкретно-управлінських слід віднести принципи субординації, оптимальності зовнішнього доповнення моделювання.

Принцип об'єктивності управління полягає в необхідності розглядати об'єкти управління та їх проблеми як об'єктивну реальність, виявляти об'єктивні закони і тенденції їх розвитку та використовувати їх в процесі управління. Наукове управління є не що інше, як втілення вимог об'єктивних законів, врахування реальних можливостей, оцінки дійсного стану об'єкта, прийняття управлінських рішень неупереджено, об'єктивно, відповідно до реальної ситуації.

Принцип комплексності передбачає всебічне охоплення об'єкта управління як складної системи, його цілісності, структури, функцій, властивостей, зв'язків. Лише на основі такого всеохоплюючого, всебічного аналізу об'єкта управління як системи можливе найповніше пізнання законів його розвитку і, на основі цього, вироблення та втілення найбільш адекватних управлінських рішень, що сприятимуть ефективному досягненню мети. Цей принцип варто доповнити, принаймні, ще однією умовою: управляюча система повинна не тільки всебічно вивчати об'єкт, вона повинна прагнути до його системного впорядкування аж до оптимізації (збалансування структури, спеціалізація та узгодження функцій, раціональна субординація та конфігурація елементів, посилення загальносистемної функціональності, забезпечення рівноваги між системою та зовнішнім середовищем і т. ін.).

Принцип динамічності — необхідність розгляду об'єкта управління в русі та в розвитку, виявлення та відслідковування часових і просторових його змін, проникнення в суть джерел його розвитку рушійних сил. Цей принцип зумовлює також постійність та безперервність взаємодії (обміну інформацією) між суб'єктом і об'єктом. Тобто він визначає і певний режим динаміки власне процесу управління (тривалість стадій управлінського циклу, їх послідовність або необхідність порушення такої послідовності).

Принцип конкретності передбачає творче застосування об'єктивних законів і абстрактних схем при управлінні певним, конкретним, визначеним об'єктом. Це вимагає детального вивчення прояву законів у розвитку певного об'єкта, пізнання його специфіки, сукупності реальних умов середовища та адекватного практичного застосування для досягнення певної мети управління. Управляти конкретно — означає управляти на основі достовірної та наукової обробленої інформації про внутрішній стан конкретного об'єкта та про середовище його функціонування.

Принцип субординації передбачає таку побудову управляючої підсистеми, яка мала б у своєму складі центральний орган (розпорядчий елемент найвищого рангу), вертикальну підпорядкованість всіх рівнів і відповідних елементів, функціональну безвідмовність елементів, забезпечувала б якнайшвидше проходження управлінського сигналу зверху до низу та адекватну реакцію підпорядкованих елементів на управляючий сигнал. В конкретному розумінні субординація — це наріжний принцип, без дотримання якого не може існувати жодна управляюча підсистема. Коротко суть цього принципу формулюється так: підлеглисть, підпорядкованість нижчих елементів вищим.

Принцип оптимальності вимагає вибрати найкращий варіант впливу на об'єкт, забезпечити досягнення цілей його розвитку в найкоротший термін, при найменших затратах ресурсів. Суть оптимальності в да-

ному випадку полягає у доцільному поєднанні, збалансованості результатів та затрат на управлінську діяльність. Своєрідним доповненням цього принципу є вимога ефективності управлінської діяльності — досягнення мети (результату) при найменш можливих затратах на це.

Принцип зовнішнього доповнення — необхідність вивчення впливу зовнішнього середовища на об'єкт управління, постійного врахування цього впливу при обґрунтуванні та втіленні управлінських рішень, доцільної цілеспрямованої зміни середовища з метою більш успішного досягнення управлінських цілей.

Принцип моделювання — передбачає створення різного роду моделей реального об'єкта управління (вербальних, формально-математичних, механічних, але таких, що найбільш адекватно відображали б структуру та механізм конкретного об'єкта) з метою перевірки правильності рішень та передбаченої поведінки об'єкта під дією управляючого впливу. Моделювання, вже як метод управління, найбільшого поширення набуло на стадіях прогнозування та планування.

15.5. Системна методологія прогнозування

У сучасних умовах зростає актуальність і важливість вибору оптимальних управлінських рішень, які, зокрема, мають враховувати і відображати ймовірні шляхи та варіанти поведінки об'єкта управління в майбутньому. Вибір рішення, визначення діагнозу стосовно об'єкта управління повинні ґрунтуватись на інформації, яка б істотно випереджувала в часі реальні процеси розвитку цього об'єкта. Використання прогнозованої інформації, що дорівнює як мінімум тривалості реалізаційного циклу, є однією з головних умов ефективного управління. Зрозуміло, що чим далі зазирнути в майбутнє, тим управління буде більш ефективним.

Величина мінімального випередження інформації є достатньою умовою ефективного управління лише при відсутності затримки в переробці інформації безпосередньо в керуючій підсистемі. Досвід свідчить, що такої ідеальної ситуації в практиці фактично не існує. Тому період випередження інформації повинен збільшуватися на час, що витрачається на переробку інформації в керуючій підсистемі.

Таке випередження інформації може бути досягнуте лише на основі наукового прогнозування, яке покликане істотно сприяти вирішенню таких завдань: обґрунтування альтернативних цілей розвитку, відшукування оптимальних шляхів, засобів та ресурсів для досягнення цілей, виявлення обмежуючих чинників розвитку об'єкта.

Загалом можна стверджувати, що прогнозування забезпечує вирішення низки специфічних завдань в процесі управління, зокрема:

- визначення ймовірних цілей, які можуть бути вирішені впродовж періоду прогнозування;
- виявлення об'єктивних тенденцій розвитку (еволюції) об'єкта управління;
- оцінка впливу факторів зовнішнього середовища (макросистеми) на об'єкт;
- визначення трудових, матеріальних, природних ресурсів для досягнення цілей управління в майбутньому;
- виявлення виробничих та соціальних потреб (запиту) стосовно конкретного об'єкта управління.

Метою традиційних прогнозів є переважно окремі, часткові аспекти досліджуваного об'єкта. Методи їх розробки виправдовують себе, як правило, лише стосовно простих об'єктів, тому відбувається вимушене спрощення опису складних об'єктів до такого рівня, при якому достатньо ефективно «працює» конкретний метод прогнозування. В міру ускладнення завдань, що вирішуються прогнозними дослідженнями, порівняльна ефективність окремих методів відходить на другий план стосовно цілей зведення цих методів у системи. В таких системах прогнозування, що призначені для розробки прогнозів складних об'єктів, використовується певним чином взаємопов'язана та взаємоузгоджена сукупність методів, засобів і процедур. Система прогнозування покликана виконати принаймні дві задачі: по-перше, виявити множину варіантів розвитку об'єкта управління; по-друге, порівняння і вибір альтернатив розвитку. Об'єднання результатів вирішення цих задач є синтезом системи прогнозування, який вирішує комплексну (системну) проблему передбачення розвитку об'єкта управління. При цьому реалізуються такі системні принципи прогнозування:

- взаємоузгодженість та підпорядкованість прогнозів різних рівнів ієрархії об'єкта, його зовнішнього середовища, різних його аспектів;
- узгодженість наукових і нормативних прогнозів;
- безперервність прогнозування, що вимагає коригування прогнозів в міру надходження нової інформації.

Тобто система прогнозування є по суті динамічною системою управління зі зворотними зв'язками. Система прогнозування, як і будь-яка система, складається з підсистем, що виділяються за принципом локалізації функцій. Вона містить шість підсистем: формування задач розвитку об'єкта; формування функцій, що забезпечують вирішення задач; обґрунтування засобів виконання заданих функцій; оцінка неоднорідності складових засобів; формування комплексних критеріїв вибору альтернатив; синтез сукупності альтернатив розвитку об'єкта.

Підбиваючи підсумок до даної теми, доцільно зауважити, що, по-перше, категорія «управління» невіддільна від категорії «система», бо тільки стосовно системно організованих об'єктів можливий процес управління; по-друге, і суб'єкт, і об'єкт управління є відносно автономними підсистемами, що функціонують за системними законами; по-третє, сам процес управління є системно організованою цілісністю взаємопов'язаних стадій; по-четверте, як наслідок попереднього, наукові принципи управління є відображенням об'єктивних законів функціонування самокерованих систем.

Запитання для самоконтролю

1. *У чому сутність управління?*
2. *Як поділяють система за способом управління?*
3. *У чому особливості регулювання?*
4. *Які основні ознаки самокерованої системи?*
5. *Що собою являє цикл управління?*
6. *Назвіть основні принципи аналізу об'єкта управління.*
7. *Які головні функції суб'єкта управління?*
8. *Яке значення субординації в управлінні?*
9. *У чому сутність ефективності (якості) управляючої системи?*
10. *У чому полягає сутність принципів управління?*
11. *Яка роль прогнозування в управлінні?*

Післямова

Ознайомившись з вихідними положеннями загальної теорії систем, висвітленими в посібнику неважко дійти висновку про логіку задуму автора, що полягає в послідовному викладі наріжних теоретичних положень за наступною схемою: об'єктивні гносеологічні передумови зародження системного світогляду — загальне уявлення системи — виникнення та еволюція системи — системні властивості та процеси — різновиди (класи, типи) системи — системний аналіз, як головний засіб вивчення систем — практичне застосування теорії систем в управлінській діяльності. Така логіка викладу, на думку автора, сприяє ґрунтовному сприйняттю, розумінню та усвідомленню сутності системного світогляду. Саме за такої умови теоретичні положення загальної теорії систем будуть ефективно трансформовані в спосіб мислення, аналізу та практичної дії фахівця будь-якої сфери діяльності.

В той же час необхідно усвідомлювати, що оволодіння базовими положеннями є необхідною, але далеко недостатньою умовою формування системного світогляду, бо для ефективних фахових рішень та дій необхідне постійне поглиблення та розширення цих положень стосовно особливостей та специфіків конкретної галузі практичної діяльності. Однією з умов ефективного застосування системних принципів у практичній діяльності фахівця є чіткість, зрозумілість і до певної міри змістовна «стандартизованість» навчальних літературних джерел, які є основою самостійного опанування цими принципами. Це означає, що такі джерела (посібники, підручники) мають бути викладені за єдиними принципами та загальноновизнаною структурно-логічною схемою.

Дидактичне опрацювання та впорядкування багатоманітного матеріалу з теорії систем можливе лише за умови вирішення принаймні декількох принципових проблем.

1. Досягнення однозначності трактування та застосування базисних категорій.
2. Обґрунтоване класифікаційне розмежування загальної теорії систем та спеціальних системних теорій.
3. Визначення змісту та функцій системного аналізу як загальнонаукової методології, з одного боку, та, як сукупності методик і методів практичного застосування в певних галузях (дисциплінах) — з іншого.

Термінологічний словник

Адаптація — пристосування системи до середовища існування.

Адитивність — властивість сумативної системи; властивості системи дорівнюють сумі властивостей її елементів (протилежне емерджентність).

Алгоритм — певним чином визначена логічна послідовність дій для досягнення певної мети.

Аналіз — фізичне або смислове розчленування цілого на частини (елементи) з метою їх детального пізнання.

Аналіз системний — сукупність методів і засобів застосування теорії систем та системного підходу в аналітичній діяльності.

Аналіз структурний — аналіз структури системи (зв'язків, взаємодії, конфігурації елементів).

Аналіз структурно-функціональний — вивчення ролі елементів в системі через їх структуру (структурні зв'язки, ієрархію).

Аналіз функціональний — пояснення процесів і явищ, властивостей елементів через їх функції.

Аналітична модель — модель для здійснення аналізу об'єкта.

Біфуркація — критична точка (стан) системи, роздвоєння траєкторії, різні варіанти розвитку

Взаємодія — вплив елементів один на одного, взаємний зв'язок, обумовленість.

Властивість системи — найбільш суттєві ознаки, породжені змістом системи (цілісність, структурність, взаємодія з середовищем).

Гомеостаз — здатність системи зберігати властивості та функції під впливом середовища; динамічна рівновага системи.

Генезис — походження і розвиток, що приводять до певного стану.

Генетичний метод — дослідження на основі походження та еволюції об'єкта.

Граф — графічна модель структури.

Декомпозиція — «поділ» системи (проблеми) на частини зі збереженням підпорядкованості частини („дерево цілей”).

«Дерево цілей» — «деревоподібна» графічна модель ієрархії цілей.

Детермінована система — обумовлена, визначена, прогнозована система, яка адекватно реагує на зовнішній вплив.

Дисипативність — перехід впорядкованого руху до невпорядкованого, хаотичного.

Життєвий цикл — послідовні зміни станів системи від виникнення до зникнення.

Зв'язок — обмін речовиною, енергією, інформацією між елементами, між системою та середовищем.

Загальна теорія систем — наукова дисципліна, що вивчає спільні закономірності для всіх систем та обґрунтовує методологічні принципи їх дослідження.

Еволюція — повільні кількісні зміни, що накопичуються і приводять до поступових якісних змін структури і функцій системи.

Екстраполяція — спосіб передбачення, прогнозування.

Елемент — неподільна з точки зору даної системи її частина.

Емерджентність — наявність у системи властивостей, якими не володіють (в сумі) її складові (елементи).

Ентропія — міра невизначеності, невпорядкованості системи.

Ізоморфізм — загальна схожість, тотожність систем (моделей), об'єктів певного виду класу.

Ієрархія — підпорядковане розташування (розміщення) елементів від вищого до нижчого.

Інваріантність — постійність (незмінність) системи або властивості по відношенню до змін умов.

Інтеграція — об'єднання і зв'язаність елементів, посилення цілісності.

Інформація — відомості, знання спостерігача про систему.

Кібернетика — наука про загальні закони управління в різноманітних системах.

Комунікація — процес обміну інформацією, процес і форма інформаційного зв'язку.

Комплекс — сукупність, поєднання предметів і явищ, що складають єдине ціле.

Координація — узгодження, впорядкування при умові рівноправності елементів.

Критична точка — точка траєкторії системи, де вона може зруйнуватися або перейти в якісно новий стан.

Метасистема — система систем.

Метаболізм — перетворення в системі, обмінні динамічні процеси.

Моделювання — метод пізнання дійсності, що полягає в створенні та дослідженні її моделі.

Модель — штучно створена пізнавальна система, що адекватно відображає зміст, структуру та властивості реальної системи.

Негоентропія — стан, процес, зворотний ентропії, впорядкованість.

Оптимізація — пошук рішення щодо стану системи, який би на основі компромісу задовольняв усі елементи системи та забезпечував би досягнення системою в цілому максимально (мінімальної) функції.

Організація — процес і результат (стан) впорядкування системи на основі певних факторів, критеріїв, цілей.

Параметри система — кількісний вираз характеристик (властивостей) системи.

Підсистема — цілісна частина системи, що об'єднує однорідні елементи та системно організована.

Принцип — загальне правило діяльності.

Прямий зв'язок — безпосередній вплив одного елемента на інший.

Регулювання — різновид управління на основі зворотного зв'язку, що повертає систему до заданої траєкторії.

Сигнал — умовний знак, що несе повідомлення, інформацію.

Синергетика — загальна теорія самоорганізації складних систем.

Система — цілісна сукупність взаємозв'язаних елементів.

Системний підхід — загальнонауковий принцип пізнавальної діяльності, що ґрунтується на системному баченні дійсності.

Системотехніка — прикладний (інженерний) напрям про моделювання, конструювання систем.

Спеціальні теорії систем — системні теорії в певних галузях знань, що пояснюють окремі аспекти, стан систем.

Структура — певна сукупність зв'язків і відношень між елементами, що визначають спосіб їх взаємодії та організації.

Структурно-функціональний підхід — вивчення системних об'єктів на основі визнання взаємозв'язку між структурою і функціями системи.

Середовище — оточення системи, яке впливає на неї та відчуває на собі її вплив.

Стохастичний процес — випадковий, важко передбачуваний процес.

Теорія систем — складна сукупність знань (принципів, законів) про утворення та функціонування системних об'єктів довільної природи.

Управління — впорядкування, приведення системи до рівноважного стану.

Форма — зовнішній вигляд, характер впорядкованості систем.

Функція — здатність (властивість) виконувати певні дії, що підпорядковані «інтересам» системи.

Функціоналізм — науковий принцип, що пояснює структуру через функції.

Список використаної літератури

1. *Аверьянов А. Н.* Системное познание мира: Методологические проблемы. — М.: Политиздат, 1985. — 263 с.
2. *Блауберг И. В., Юдин Э. Г.* Становление и сущность системного подхода. — М.: Наука, 1973. — 270 с.
3. *Винер Н.* Мое отношение к кибернетике. — М.: Советское радио, 1969. — 25 с.
4. *Волкова В. Н.* Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи. — М.: Радио и связь, 1983. — 248 с.
5. *Голубков Е. П.* Использование системного анализа в принятии плановых решений. — М.: Экономика, 1982. — 160 с.
6. *Дудник І. М.* Природокористування: еколого-економічні основи. — Полтава: Астрєя, 1994. — 242 с.
7. *Дудник І. М.* Суспільно-географічні системи низового рівня. — Полтава: Полтавський літератор, 1997. — 248 с.
8. *Жилин Д. М.* Теория систем: опыт построения курса. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 184 с.
9. *Месарович М., Тахакара Я.* Общая теория систем: Математические основы. — М.: Мир, 1978. — 311 с.
10. *Могилевский В. Д.* Методология систем: вербальный подход. — М.: ОАО «Изд-во Экономика», 1999. — 251 с.
11. *Оптнер С. Л.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. — М.: Советское радио, 1969. — 216 с.
12. *Орловский П. М.* Системный анализ (основные понятия, принципы, методология): Учебное пособие. — К.: ІЗМН, 1996. — 360 с.
13. *Перегудов Ф. Н., Тарасенко Ф. П.* Введение в системный анализ. — М.: Высш. шк., 1989. — 368 с.
14. Рабочая книга по прогнозированию / И. В. Бестужев-Лада (отв. ред.). — М.: Мысль, 1982. — 430 с.
15. *Садовский В. Н.* Основание общей теории систем и концепций. Логико-методологический анализ. — М.: Наука, 1974. — 279 с.
16. *Сетров М. И.* Общие принципы организации систем и их методологическое значение. — Л.: Наука, 1971. — 120 с.
17. *Сетров М. И.* Основы функциональной теории организации. — Л.: Наука, 1972. — 164 с.
18. Системологія на транспорті: Підручник (М. Ф. Дмитриченко). - К.: Знання України, 2005. Кн. 1: Основи теорії систем і управління. — 2005. — 343 с.
19. *Сурмин Ю. П.* Теория систем и системный анализ: Учебное пособие. — К.: МАУП, 2003. — 368 с.
20. *Уемов А. И.* Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. — 272 с.
21. *Черняк Ю. П.* Системный анализ в управлении экономикой. — М.: Экономика, 1975. — 191 с.
22. *Чорней Н. Б., Чорней Р. К.* Теорія систем і системний аналіз. — К.: МАУП, 2005.—256с.
23. *Юн Г.М., Марінцева К. В.* Основи теорії систем і системний аналіз: конспект лекцій. — К.: НАУ, 2004. — 68 с.