

ТЕМА 1. СИСТЕМИ

План:

1. Поняття «система»
2. Класифікація та властивості систем
3. Загальні підходи до опису систем

Література:

1. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука. В 2 кн. / Под ред. Л. И. Абалкина. — М.: Экономика, 1989.
- Винер Н. Я. — математик. — М.: Наука, 1967. — 234 с.
2. Гелднер К. Кибернетика и ее будущее: Пер. с нем. — М.: Радио и связь, 1983. — 96 с.
3. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Системотехника. — М.: Радио и связь, 1985. — 200 с.
4. Исследования по общей теории систем. Сб. статей: Пер с англ. и польск. — М.: Прогресс, 1969. — 520 с.
5. Кибернетика и ноосфера. — М.: Наука, 1986. — 160 с.
6. Клаус Г. Кибернетика и общество. — М.: Прогресс, 1967. — 432 с.
7. Клаус Г. Кибернетика и философия. — М.: ИЛ, 1963. — 531 с.
8. Моисеев В. Д. Центральные идеи и философские основы кибернетики. — М.: Мысль, 1965. — 326 с.
9. Моисеев Н. Н. Люди и кибернетика. — М.: Мол. Гвардия, 1984. — 224 с.

1.1. Поняття «система»

Згадувані у вступному слові поняття системи, інформації, управління, моделі, зворотного зв'язку застосовують як вихідні, вивчаючи складні системи різної природи. Однак попри всю важливість цих понять для багатьох наукових дисциплін, вони й досі не мають загальноновизнаних формальних визначень. Тому до кожної з розглядуваних далі тем спочатку подаватимемо змістовний опис відповідних понять.

Система. Термін «система» широко вживаний як у науковій літературі, так і в повсякденному житті. Під системою розуміють сукупність об'єктів, розглядувану як єдине ціле. Саме в такому сенсі говорять про систему виробництва, систему управління економікою, торговельну систему, систему кровообігу, обчислювальну систему, систему математичних рівнянь тощо.

Отже, формуючи систему, об'єднують як матеріальні — економічні, біологічні, технічні, так і ідеальні (абстрактні) об'єкти — наукові, математичні, керуючись при цьому деякими системотвірними ознаками. Наприклад, за ознакою організаційної підпорядкованості побудовано систему міністерства, спільності територій чи функцій — фінансово-кредитну або торговельну систему, субстрату та процесу — систему кровообігу.

Довільний реальний об'єкт має незліченну кількість властивостей (характеристик), і за кожною з них його можна віднести до тієї чи іншої системи як її елемент.

Якщо, скажімо, розглядати університет як окрему систему, то з погляду його ректора, проректора з фінансово-господарських питань, головного бухгалтера, начальника служби охорони він складатиметься з різних підсистем та елементів, наділених неоднаковими функціональними властивостями.

Загалом, щоб виокремити систему із зовнішнього середовища, потрібно мати:

- об'єкт дослідження, що складається з множини елементів, об'єднаних у деяку сукупність. Цими елементами можуть бути люди, природні об'єкти, технічні пристрої або їхні частини, знаки-символи, слова природної мови тощо;

- суб'єкт дослідження — так званого спостерігача;

- задачу, що характеризує ставлення спостерігача до об'єкта, зумовлюючи поділ системи на складові (елементи та підсистеми) та вибір їхніх істотних властивостей.

Сукупність цих вимог та певна суб'єктивність неминуха, коли йдеться про вибір системотвірних ознак, призводять до значних труднощів у разі намагання дати універсальне визначення системи. Тому залежно від мети дослідження застосовують різні підходи до тлумачення терміна «система», які різняться за рівнем абстракції. Обмежимося таким визначенням:

Під *системою* S розумітимемо множину взаємозв'язаних, взаємозалежних елементів будь-якої природи, які поєднані за деякими системотвірними ознаками, утворюють єдине ціле та підпорядковані певній спільній меті.

Зовнішнє середовище E — це все те, що не ввійшло до системи.

Входи, виходи системи. Система взаємодіє із зовнішнім середовищем за допомогою своїх «входів» і «виходів».

Вхід системи — це канали, за допомогою яких зовнішнє середовище E впливає на систему S . Через входи із зовнішнього середовища до системи надходить речовина, енергія, інформація.

Вихід системи — це канали впливу системи S на зовнішнє середовище. Результати процесів перетворення входу (речовина, енергія, інформація) надходять до зовнішнього середовища через «вихід».

Позначивши множину входів символом $X = \{X_i\} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, виходів — $Y = \{Y_j\} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$, а відношення між ними — R , запишемо: YRX .

Елемент системи. Підсистеми. Елемент системи — це неподільна частина системи (за певного способу розбиття її), що має деяку самостійність стосовно всієї системи. Неподільність елементів відносна: її потрібно розуміти як недоцільність у межах

розглядуваної моделі даної системи враховувати внутрішню структуру окремих складових останньої.

Будь-який об'єкт, узятий за первинний, можна тлумачити як елемент (підсистему) деякої системи вищого рангу. **Підсистема** — частина системи, виокремлена за тими чи іншими системоутвірними (наприклад, функціональними) ознаками. Якщо, скажімо, системою вважати економіку країни, то як підсистеми можна розглядати окремі сектори та галузі економіки.

Будь-яка система може бути підсистемою іншої системи, яка щодо неї є **надсистемою**. **Зовнішнім середовищем** даної системи називається система, що складається з елементів, які не належать цій системі.

Елементи системи характеризуються тільки зовнішніми проявами у вигляді взаємодії з іншими елементами, що зумовлюється наявністю зв'язків між ними.

Зв'язок елемента із зовнішнім середовищем моделюється за допомогою його входів і виходів.

Кількісною мірою взаємодії входу (виходу) елемента з відповідним середовищем є інтенсивність цього входу (виходу). Графічну схему елемента зображено на рис. 1.1. У загальному випадку елемент розглядається як перетворювач входів на виходи: $Y = \mathbf{R}X$, де \mathbf{R} — символічне позначення сукупності перетворень множини входів на множину виходів.

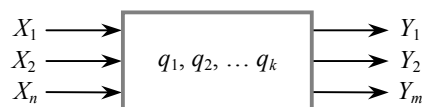


Рис. 1.1. Графічна схема елемента (системи)

Для того щоб елементи системи могли сприймати, запам'ятовувати та переробляти інформацію, вони мають бути мінливими, змінюючи свої властивості. Іншими словами елемент може перебувати в різних *станах*. Кожний елемент характеризується набором показників, причому зі зміною значення хоча б одного з них елемент переходить до іншого стану. Внутрішній стан елемента — це сукупність його істотних властивостей $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$. Система в цілому також може розглядатися як елемент, оскільки вона характеризується своїми показниками і може переходити з одного стану до іншого.

Показники можуть бути кількісними або якісними. Кількісні показники можуть бути неперервними або дискретними. Якісні показники ранжуються здебільшого за рівнем значущості на порядкових або відносних шкалах. До таких показників належать, наприклад, інтелект (коефіцієнт інтелекту), рівень знань студента (оцінка в балах), перевага однієї альтернативи перед іншою.

Елемент може впливати на інші елементи системи, змінюючи їхні стани. Цей вплив може бути енергетичним або інформаційним. Стан елемента може змінюватися сам по собі або в результаті сигналів і впливів, що надходять ззовні системи.

Структура систем. Функціонування системи як єдиного цілого забезпечується зв'язками між її елементами. У техніці ці зв'язки формуються під час проектування, у біології вони виникають у процесі зародження й розвитку організму. В економічних системах зв'язки можуть організовуватися у плановому порядку чи стихійно під впливом ринкових механізмів.

Структура системи — це сукупність її елементів і зв'язків між ними, по яких можуть проходити сигнали і впливи. Формально структуру найчастіше подають графічно у вигляді схеми або графа (рис. 1.3).

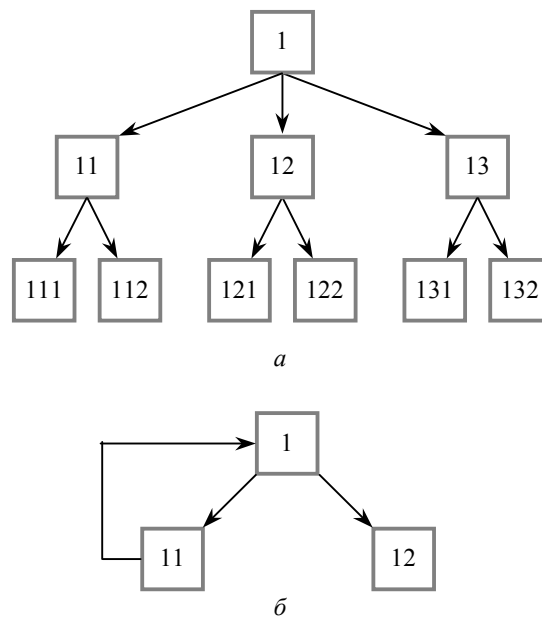


Рис. 1.2. Графічне зображення структури:

a — без зворотного зв'язку; *б* — зі зворотним зв'язком

Взаємодія реальних об'єктів (елементів) системи один з одним та із зовнішнім середовищем є різноманітною та багатоаспектною завдяки значній кількості їхніх властивостей. Тому під час дослідження системи беруть до уваги лише найбільш суттєві зв'язки та властивості, які відчутно впливають на її функціонування, а рештою нехтують.

Розглядаючи поняття входів та виходів (кількість яких скінчена), вважають, що вони моделюють саме істотні зв'язки (матеріально-речовинні й інформаційні) між об'єктами. Отже, поняття

«система» є абстракцією не тільки щодо властивостей реальних об'єктів, а й щодо зв'язків між ними.

1.2. Класифікація та властивості систем

Формуючи класи систем, застосовують різні класифікаційні (системотвірні) ознаки, головними з яких вважають природу та походження елементів, тривалість існування, мінливість властивостей (поводження), ступінь складності, відносини до середовища тощо. Одну з можливих класифікацій систем наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ

№ з/п	Класифікаційна ознака	Класи систем
1	Природа елементів	Реальні, фізичні, абстрактні
2	Походження елементів	Природні, штучні
3	Тривалість існування	Постійні, тимчасові
4	Мінливість властивостей та поведження	Статичні, динамічні, стохастичні, детерміновані
5	Ступінь складності	Прості, складні, великі
6	Ступінь стійкості	Стійкі (рівноважні), нерівноважні
7	Реакція на збурювальні впливи	Активні, пасивні
8	Характер поведження	З управлінням, без управління
9	Ступінь участі в реалізації управлінських впливів людей	Технічні, людино-машинні (ергатичні), організаційні
10	Ступінь зв'язку із зовнішнім середовищем	Відкриті, закриті й ізольовані

Спинимось докладніше на деяких основних типах систем.

Абстрактні системи складаються з елементів, що не мають фізичних аналогів у реальному світі. Наприклад, системи рівнянь, системи числення, ідеї, плани, гіпотези, теорії тощо.

Штучні — це системи, які створила людина.

Прості системи — такі, що їх можна описати з достатньою точністю.

Великі складні системи — складаються з численних взаємозалежних і таких, що взаємодіють між собою, різнорідних елементів та підсистем. Складні системи мають принципово нові властивості, яких не має жодний зі складових елементів (властивість *емерджентності*). Приклади складних систем: живий організм, підприємство, галузь економіки, система управління телекомунікаціями і т. ін. Такі системи характеризуються високим рівнем невизначеності свого поведження.

Ізольовані (закриті) системи — на відміну від відкритих систем не обмінюються із зовнішнім середовищем енергією, речовиною або інформацією.

Організаційні системи — соціальні системи, групи, колективи людей, суспільство в цілому.

Кібернетичні системи — складні динамічні системи з управлінням. *Кібернетична система* — це множина взаємозалежних об'єктів (її елементів), здатних сприймати, запам'ятовувати і переробляти інформацію, а також обмінюватися нею. Приклади кібернетичних систем: автопілот, регулятор температури, комп'ютер, людський мозок, живий організм, підприємство, людське суспільство.

Кібернетичним системам притаманна низка нових властивостей, яких можуть не мати системи інших типів:

- 1) багатоваріантність поведження;
- 2) керованість (інформаційним впливом на систему можна змінити її поведження);
- 3) наявність керувального пристрою;
- 4) здатність взаємодіяти з навколишнім середовищем як безпосередньо, так і через керувальний пристрій;
- 5) існування між системою, середовищем та керувальним пристроєм каналів інформації;
- 6) здатність інформації, яка циркулює по цих каналах, утворювати зворотні зв'язки, за допомогою яких здійснюється управління поведженням системи з боку органів управління;

7) цілеспрямованість управління системою: воно спрямовує систему до вибору певного поведження або стану, компенсуючи зовнішні збурення;

8) досягнення мети, так само як і поведження системи, має ймовірнісний характер і визначається співвідношенням потужності збурювальних впливів та ефективності керувального пристрою (здатність до переробки інформації та вироблення оптимальних у певному сенсі керувальних впливів);

9) властивість *рівноваги*, притаманна деяким кібернетичним системам, тобто здатність керувального пристрою повертати систему до початкового стану або до початкового поведження, компенсуючи збурювальні впливи;

10) властивість *самоорганізації*, також притаманна деяким кібернетичним системам, тобто здатність відновлювати або змінювати свою структуру та спосіб функціонування, компенсуючи збурювальні впливи.

1.3. Загальні підходи до опису систем

Приклад графічного та аналітичного опису системи. Описуючи систему, найчастіше вдаються до двох способів: *графічного* (схеми, графи) та *аналітичного* (математичні вирази, системи рівнянь). Скажімо, схему можна розглядати як графічну модель системи. Від схемного опису можна перейти до аналітичного. При цьому передбачається, що кожний з елементів виконує перетворення, яке було притаманне йому, перш ніж його включили до системи.

Нехай елементи системи $S = \{q_1, q_2, q_3\}$ — лінійні перетворювачі; φ і f — перетворювачі, що реалізують відповідно функції φ і f ; Σ_1, Σ_2 — суматори (рис. 1.3).

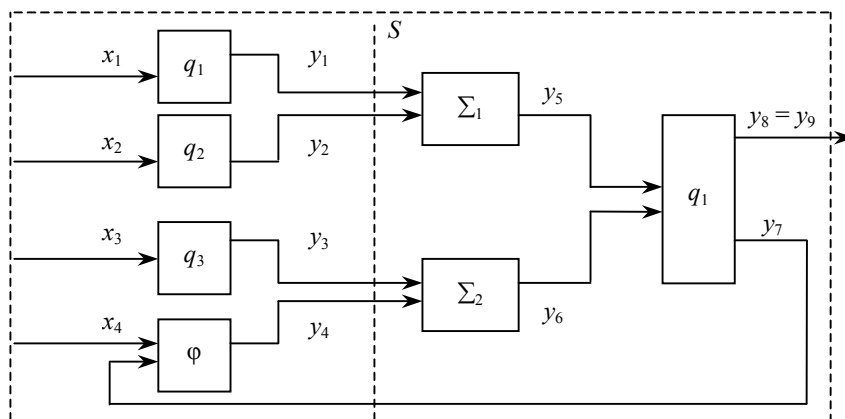


Рис. 1.3. Графічний опис системи

Звідси маємо:

$$\begin{cases} y_1 = q_1 x_1, \\ y_2 = q_2 x_2, \\ y_3 = q_3 x_3, \\ y_4 = \varphi(x_4, y_7); \end{cases} \quad \begin{cases} y_7 = f_1(y_5, x_1); \\ y_6 = y_3 + y_4, \\ y_5 = y_1 + y_2, \\ y_9 = y_8 = f_2(y_5, y_6). \end{cases}$$

Кількість ступенів свободи системи — це різниця між загальною кількістю змінних та кількістю рівнянь зв'язків між ними. У розглянутому прикладі система має чотири ступені волі.

Динамічний опис систем. Системи, в яких із часом відбуваються деякі зміни, називають **динамічними**. Стан системи в довільний момент часу можна описати за допомогою набору певних величин — **параметрів**, що характеризують виходи системи. Зміну станів системи з часом називають **рухом** системи.

Описуючи зміну станів та рух системи, застосовують такі способи:

- *вербальний* — послідовно перелічують та описують характеристики стану системи, дістаючи в результаті перше наближення динамічного опису;
- *графічний* — будують діаграми та графіки, що дають наочне уявлення про динаміку процесу в системі;
- *табличний* — подають кількісну оцінку стану системи в дискретні моменти часу;
- *математичний* — записують функціональну залежність стану системи від часу та значень входів системи.

З погляду математики будь-яка динамічна система описує рух точки у так званому **фазовому просторі, або просторі станів**. Найважливіша характеристика цього простору — його розмірність, тобто кількість величин, які необхідно задати для визначення стану системи. При цьому не так вже й істотно, що це за величини — вони можуть характеризувати кількість різних представників фауни на певній території, або являти собою змінні, що описують сонячну активність чи кардіограму, або подавати частку виборців, які підтримують президента, і т. ін.

Якщо за координатні осі взяти параметри системи, то значення цих параметрів будуть фазовими координатами, а утворений ними вектор z — станом системи.

Кожному стану системи відповідає певна точка фазового простору — **зображувальна точка**, а кожному процесу зміни стану (руху) системи відповідає певна **траєкторія**. Сім'ю цих траєкторій називають **фазовим портретом системи**. Здебільшого фазовий портрет являє собою сім'ю неперетинних кривих (рис. 1.4).

Фазова траєкторія, характеризуючи переміщення зображувальної точки, відбиває водночас поведінку системи під впливом деяких факторів. Отже, за допомогою фазової траєкторії можна графічно подавати поведінку системи.

Нехай $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$ — функції відповідно входів, виходів та стану динамічної системи, тоді цю систему формально можна описати рівняннями спостереження та стану системи:

$$y = f(z(t), t), \quad z = g(z(\tau), x(\tau)), \tau \leq t,$$

де f, g — деякі функції.

Коли ці функції та функції зміни входів і виходів неперервні, поведінку таких динамічних систем часто описують за допомогою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dy}{dt} = f(t, x, z), \quad \frac{dz}{dt} = g(t, x, z).$$

Для дискретних систем зміна станів визначається загальним розв'язком рівняння:

$$z(t_{k+1}) = g(t_k, z(t_k), x(t_k)).$$

Розрізняють три характерних типи поведінки, або три режими, в яких може перебувати динамічна система: **рівноважний, періодичний, перехідний**. **Рівноважний режим функціонування, або рівновага системи** — це здатність її зберігати свій стан як завгодно довго (як за відсутності, так і за наявності зовнішніх збурювальних впливів).

Під **стійкістю** системи розуміють здатність системи повертатися до стану рівноваги після виведення її з цього стану під впливом зовнішніх збурень. Стан рівноваги, до якого система здатна повертатися, називають **стійким станом рівноваги**. У складних кібернетичних системах залежно від характеру досліджуваних задач і типу збурень застосовують різні критерії стійкості.

Одним із найбільш поширених є *критерій стійкості за Ляпуновим*. Стан системи $z_0 = z(t_0)$ буде стійким за Ляпуновим для всіх $t \geq t_0$, якщо для довільної заданої області допустимих відхилень цього стану $\tilde{z}(t_0)$ (область ε) існує така область δ , що траєкторія довільного руху, яка почалась в області δ , не вийде за межі області ε , що формально можна записати так:

$$\forall \varepsilon \exists \delta : \forall \tilde{z} |z(t_0) - \tilde{z}(t_0)| < \delta \Rightarrow |z(t) - \tilde{z}(t)| < \varepsilon.$$

Періодичний режим функціонування системи — це режим, коли протягом рівних проміжків часу система приходиться до одного й того самого стану (потрапляє в точку фазового простору).

Перехідним режимом називається рух динамічної системи з одного стійкого режиму (періодичного або рівноважного) до іншого. Швидкість перехідного процесу характеризує інерційність системи.

Усі ці режими характеризують динаміку розвитку соціально-економічних систем. Скажімо, дослідженню рівноважних станів економіки (моделі ринкової рівноваги) та економічним циклам (сезонні цикли, цикли Кондратьєва) приділяється значна увага в економічній теорії. Щодо перехідних (нестійких) режимів функціонування економіки, то останнім часом істотно змінилися погляди на їхню роль в еволюції економічних систем, що посприяло розвитку нових напрямків, зокрема синергетичної економіки (див. розд. 5).

Функція та схема системи. Довільна система має певну функцію та схему. *Функцією* вважатимемо закон перетворення входів системи на її виходи. *Схемою* назвемо сукупність елементів, що беруть участь у реалізації функції системи, а також структуру їхніх зв'язків.

Очевидно, що таку дійову систему доводиться описувати вже у двох аспектах: з погляду її функцій і дій та з погляду тих методів і засобів, за допомогою яких ці дії реалізуються. Відповідно така система матиме і дві структури: функціональну та схемну. Зазначену систему можна подати в матричній формі, де найменуваннями рядків будуть елементарні функції, а найменуваннями стовпців — елементарні схеми. Елементи системи міститимуться на перетині рядків і стовпців цієї матриці. Вектор-рядок елементів, пов'язаних із реалізацією певної функції, буде функціональною підсистемою, а вектор-стовпець елементів — схемною підсистемою, що реалізує певний набір функцій.

Такий двовимірний опис системи зручний для будь-яких типів систем. Наприклад, систему управління підприємством або галуззю можна подати, з одного боку, як певний набір функціональних підсистем (планування, керівництва, обліку, матеріального забезпечення), а з другого — як набір схемних підсистем, що відбивають комплекси методів і засобів, за допомогою яких ці функції реалізуються (інформаційна підсистема, організаційно-правова підсистема, підсистема технічного забезпечення, підсистема математичного забезпечення і т. ін.).

У процесі дослідження систем постають два типи задач.

1. *Задача аналізу* — за заданою схемою знайти функцію, що її вона реалізує. Якщо схемна підсистема сама являє собою велику систему, то задача ставиться так: за заданою схемою знайти ієрархічну структуру функцій, що їх вона реалізує. Цю задачу можна сформулювати й інакше: за

заданою схемою знайти функцію, що реалізується цією схемою найкраще, тобто знайти оптимальну функцію даної системи.

2. *Задача синтезу* — за заданою функцією знайти схему, що її реалізує. Якщо функціональна підсистема складна й велика, то необхідно знайти ієрархічну структуру набору схем, що реалізовує дану функцію.

У загальному випадку можна встановити такий орієнтовний порядок опису та роботи із системою:

- сформулювати задачу;
- обмежити об'єкт дослідження, тобто сформулювати критерії добору елементів системи і скласти список або дати визначення тим підоб'єктам, які включаються до системи; у разі відкритої системи дати також ще один список (визначення) тих об'єктів, що розглядаються як середовище;
- визначити ставлення спостерігача до об'єкта;
- визначити мову опису системи (тезаурусу, алфавіту, граматики і семантики);
- у задачах аналізу на основі спостережень описати схему (структуру) системи та знайти функцію, що реалізується даною схемою;
- у задачах синтезу на основі спостережень описати функцію та знайти схему, що реалізовує дану функцію;
- повністю сформулювати систему, тобто знайти відповідність функцій і схем, описавши всі компоненти системи, їхні властивості та взаємозв'язки, що відбиваються у структурі;
- подати інтерпретацію результатів, яка полягає у здійсненні перекладу з абстрактної мови системи в більш конкретну, змістовну мову опису реального об'єкта.

Для дослідження кожного окремого аспекта системи необхідна відповідна мова опису, яка буде адекватною розв'язанню саме цього аспекта задачі. Для кожного аспекта системи будується своя модель, устанавлюється взаємозв'язок цих моделей. Кожна з моделей являє собою окрему систему, тому для неї зберігає силу сформульований щойно порядок роботи. Розбіжності виявляються на етапі розгляду складної системи в цілому: для її опису необхідно побудувати об'єднану й розширену метамову, знайти спільну для всіх галузь функціональних або схемних рішень, а в разі розв'язання багатоекстремальної задачі провести операцію послідовної оптимізації.

У роботі зі складною системою неминучі зміщення в послідовності етапів роботи, послідовне чергування аналізу і синтезу.