

## ***Етапи становлення кібернетичних ідей***

Застосування математичних методів в економіці має вже тривалу історію. Наприклад, Франсуа Кене ще 1758 року теоретично узагальнив статистичний матеріал з економіки Франції та розробив свою «Економічну таблицю» — першу формалізовану модель суспільного виробництва. Але особливо бурхливе проникнення математичного інструментарію до задач моделювання економічних процесів відбулось у ХХ столітті.

Так, доречно згадати Л. Канторовича, який розробив методи лінійного програмування і вперше поставив задачу господарського планування як математично строго оптимізаційну задачу, та В. Леонтєва, який запропонував моделі міжгалузевого балансу, що стало значним внеском у розвиток економіко-математичних методів. Під час Другої світової війни стрімко розвивалися різні математичні моделі та методи їх розв'язування в багатьох галузях: у військовій справі, плануванні, організації постачання, управлінні запасами тощо. Виникли такі наукові напрямки, як теорія масового обслуговування, теорія ігор, мережне планування, теорія ризику і т. ін., які дістали назву «дослідження операцій».

До цього часу було здобуто фундаментальні результати в теорії механізмів і машин, теорії автоматичного регулювання, теорії зв'язку та інформації, а також у галузі математики, зокрема в теорії алгоритмів, математичній логіці та ін. Дедалі більшого поширення почали набувати різноманітні технічні пристрої зі зворотним зв'язком, побудовані за аналогією із системами регулювання в живих організмах, які забезпечують підтримку необхідних рівнів фізіологічних параметрів (підтримка гомеостазису).

На базі всіх зазначених досліджень сформувалися кібернетичні ідеї. Здавня було помічено, що процеси управління в різних природних і штучних системах мають багато спільного. У 1948 році американський математик Н. Вінер опублікував книгу «Кібернетика, або управління і зв'язок у тварині та машині», де

розкрив глибоку аналогію між принципами саморегуляції в живих організмах і технічних пристроях. В обох випадках процеси саморегуляції можна подати за допомогою аналогічних схем та описати однаковими математичними моделями. *Проте Вінер пішов далі, звернувши увагу на те, що пропонуваній ним підхід можна застосувати й до регулювання та управління і суспільними, і економічними процесами.*

Варто зазначити, що кількома десятками років раніше за Н. Вінера російський учений А. Богданов опублікував свою відому працю «Загальна організаційна наука тектологія» (1910—1927), в якій набагато повніше розкрив головні принципи кібернетики та загальної теорії систем.

Так виникла **кібернетика** — міждисциплінарний науковий напрямок, що досліджує процеси управління та регулювання систем довільної природи. Системи, які вивчає кібернетика, — це складні систе-

ми, що утворені з численних взаємоз'єднаних елементів, що мають спільну мету. Такі поєднання елементів називаються зв'язками.

Основні поняття кібернетики — «система», «моделювання», «управління», «інформація» і «зворотний зв'язок».

**Об'єктом** кібернетики є складні динамічні системи.

**Предметом** — інформаційні процеси, пов'язані з управлінням такими системами.

**Метою вивчення** — створення принципів, методів і засобів для досягнення найбільш ефективних у тому чи іншому сенсі результатів управління.

Кібернетика вивчає загальні закономірності та принципи, яким підпорядковуються всі складні динамічні системи, незалежно від їхньої фізичної природи. *Теза про наявність спільних принципів функціонування та управління в технічних, біологічних, економічних та інших системах являє собою головне відкриття кібернетики.*

Варто зауважити, що окремі принципи були відомі й раніше, але не було узагальнення цих принципів з установами загальних закономірностей. Відкриття кібернетикою подібності й спільності принципів функціонування та управління привело до дуже важливих наслідків. Теоретичне значення цього відкриття полягає в усвідомленні структурної аналогії (математичною мовою — ізоморфізму) процесів, що відбуваються у системах різної природи.

Але попри всю загальність ідей кібернетика є конкретною наукою. Це виявляється в тому, що якісні властивості, притаманні системам тієї чи іншої природи, є основою, на якій

будуються кібернетичні підходи до їх вивчення. Так з'явилася *технічна кібернетика* в техніці, *біологічна кібернетика* в біології та *економічна кібернетика* в економіці.

### **Загальна характеристика економічної кібернетики**

Виникнення економічної кібернетики як самостійного наукового напрямку відносять до 60-х років ХХ ст., що було значною мірою зумовлено розвитком як якісних, так і кількісних уявлень про економічні процеси, розширенням досліджень у галузі системного аналізу економіки, економіко-математичного моделювання, розширенням використання ЕОМ в обробці економічної інформації.

Вперше термін *«економічна кібернетика»* з'явився майже одночасно й незалежно у працях академіка В. Немчинова, польських вчених О. Ланге і Г. Гриневського, англійського вченого С. Біра. Саме вони окреслили первісне коло проблем цієї науки, приділивши особливу увагу зв'язку системного аналізу економіки з теорією регулювання, логічними та математичними моделями, теорією інформації. Магістральну лінію формування цього напрямку становив синтез економіко-математичного моделювання із загальними принципами кібернетики. Значний внесок у розвиток економічної кібернетики зробили Н. Кобринський, Є. Майминас, О. Смирнов, О. Гранберг, Ю. Черняк, М. Мойсеев та інші.

Економічна кібернетика розглядає економіку, а також її структурні й функціональні ланки як системи, в яких відбуваються процеси управління, що реалізуються за допомогою руху та перетворення інформації.

**Об'єктом** вивчення економічної кібернетики є економіка в цілому, галузі та сектори економіки, окремі підприємства та організації тощо.

**Предметом дослідження** — функціонування й розвиток економіки як керованої системи і, насамперед, інформаційні за своїм змістом механізми управління економічними процесами.

Економічна кібернетика тісно пов'язана, з одного боку, з теорією управління, економіко-математичним моделюванням, сучасними інформаційними системами та технологіями, а з другого — з широким колом конкретних економічних дисциплін (економічною теорією, макро- та мікроекономікою, менеджментом тощо), а також соціологією, соціальною психологією, правознавством.

Використовуючи результати цих наук, економічна кібернетика формує цілісне уявлення про економіку як складну динамічну систему, вивчає взаємодію її виробничо-технічної, соціально-економічної та організаційно-господарської структури у процесах управління, функціонування та розвитку економіки як системи.

### ***Методи економічної кібернетики***

Кібернетичні підходи в економіці використовуються, насамперед, тією мірою, якою виявляються спільні риси й аналогії в її функціонуванні та процесах управління в системах різних типів.

Але самі по собі ці аналогії не дають змоги розкрити зміст процесів, що відбуваються в економіці. Кожний тип динамічних систем — технічних, біологічних, соціальних — має свою якісну специфіку. Без її врахування скласти цілісне уявлення про функціонування та управління відповідним типом систем практично неможливо. Тому економічна кібернетика використовує досягнення інших економічних дисциплін.

Оскільки економічна кібернетика вивчає реальні економічні об'єкти за допомогою моделей, то залучаються досягнення інших дисциплін із галузі моделювання, зокрема економіко-математичного, результати системного аналізу, теорії управління, теорії автоматичного регулювання тощо.

Економічна кібернетика досліджує інформаційні процеси та процеси перетворення інформації в процесах управління, тому вона використовує результати теорії інформації та передавання повідомлень. З метою обробки економічної інформації застосовуються методи статистики та широко використовуються сучасні інформаційні системи й технології.

Таким чином, економічна кібернетика є прикладним розділом теоретичної кібернетики і разом із тим частиною комплексу економічних наук, і тому вона виступає сполучною ланкою між ними. Застосування кібернетичного підходу в економіці дає змогу синтезувати й використовувати багато методів і результати соціальних, природних і технічних наук. Насамперед, це стосується комплексного застосування математичних методів і моделей.

# РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В ЕКОНОМІЦІ

## ТЕМА 1. СИСТЕМИ

### 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 загально визнаних 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 неминуча, 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 системотвірними (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:  $Y = RX$ , де  $R$  — символічне позначення сукупності перетворень множини входів на множину виходів.

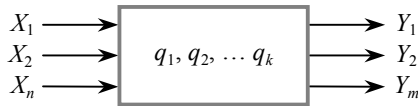


Рис. 1.1. Графічна схема елемента (системи)

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).

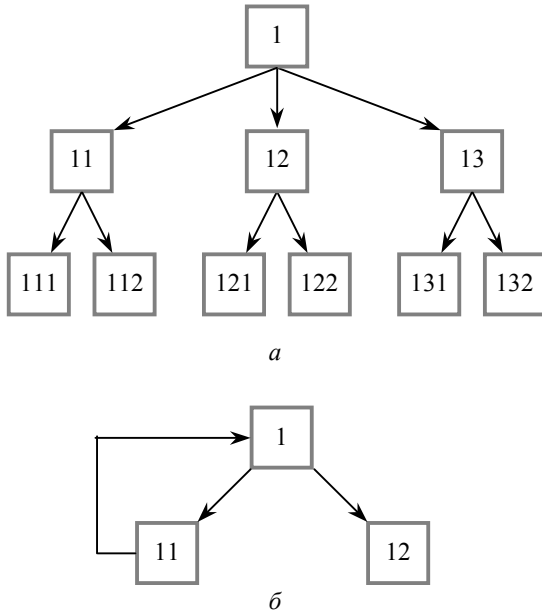


Рис. 1.2. Графічне зображення структури:  
а — без зворотного зв'язку; б — зі зворотним зв'язком

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 (ергачичні), 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 поведіння.

**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 поведіння;
- 2) керованість (інформаційним впливом на систему можна змінити її поведіння);
- 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 поведінням 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;  $\varphi$  і  $f$  — перетворювачі, що реалізують відповідно функції  $\varphi$  і  $f$ ;  $\Sigma_1, \Sigma_2$  — суматори (рис. 1.3).

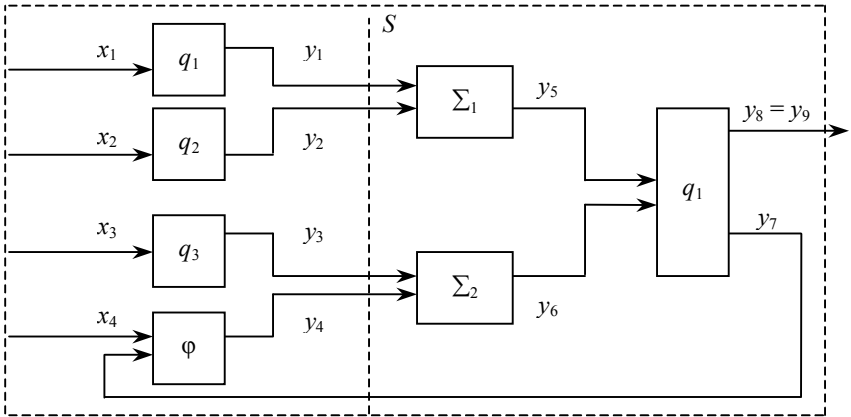


Рис. 1.3. Графічний опис системи

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 поведження системи під впливом деяких факторів. Отже, за допомогою фазової траєкторії можна графічно подавати поведження системи.

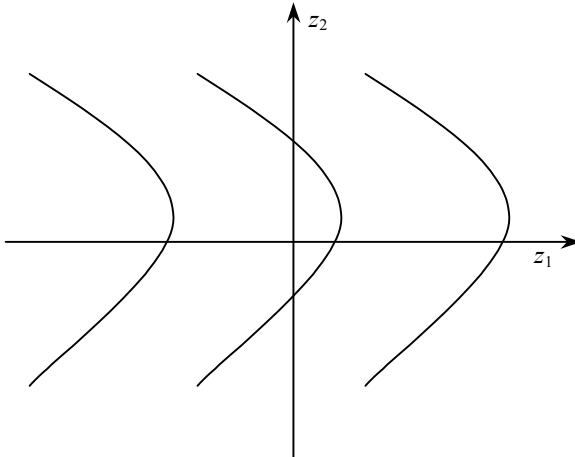


Рис. 1.4. Фазовий портрет системи у двовимірному просторі

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:

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

де  $f, g$  — деякі функції.

Коли ці функції та функції зміни входів і виходів неперервні, поведіння 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  $\varepsilon$ ) існує така область  $\delta$ , що траєкторія довільного руху, яка почалась в області  $\delta$ , не вийде за межі області  $\varepsilon$ , 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 приходить 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 реалізовує. 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 реалізовується 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 реалізовується 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.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Охарактеризуйте предмет та методи кібернетики.
2. Дайте визначення основних понять теорії систем.
3. Охарактеризуйте місце економічної кібернетики в загальному комплексі економічних наук.
4. Які методи використовуються в економічній кібернетичі?
5. Наведіть класифікацію та властивості систем.
6. У чому полягає динамічний опис систем?
7. У чому полягають завдання аналізу та синтезу при дослідженні систем?

## **ТЕМА 2. ЕКОНОМІКА ЯК КІБЕРНЕТИЧНА СИСТЕМА**

### **2.1. Соціально-економічні системи та їхні властивості**

З огляду на розглянуті вище способи класифікації систем та їхні властивості **соціально-економічні системи** можна віднести до складних імовірнісних динамічних систем, в яких відбуваються процеси виробництва, розподілу, обміну й споживання матеріальних та інших благ. Ці системи належать до класу кібернетичних систем, тобто систем з управлінням.

Серед систем, створюваних людьми, можна виокремити особливу категорію так званих **цілеспрямованих систем**, до яких належать соціально-економічні системи. Це такі системи, що мають ціль функціонування та містять у своєму складі людей як елементи. Такі системи являють собою надзвичайно складні об'єкти.

Спинимось на особливостях економіки як системи в цілому. Розглядаючи економіку на макрорівні, під економічною системою можна розуміти систему виробництва, розподілу, обміну та споживання матеріальних благ. Іноді економічну систему тлумачать як упорядковану систему взаємозв'язків між виробниками та споживачами матеріальних благ або як сукупність економічних процесів, що пов'язані з розподілом обмежених ресурсів.

Отже, з позиції системного підходу **економіку** країни можна визначити як функціональну підсистему суспільства — сукупність взаємозв'язаних ресурсів та економічних суб'єктів, що взаємодіють між собою у сфері виробництва, розподілу, обміну та споживання, утворюючи єдине ціле.

Соціально-політичні фактори розглядаються як зовнішні стосовно процесу матеріального виробництва, і саме вони визначають його ціль. За такого підходу економіка постає системою, яка перетворює ресурси на матеріальні блага, що споживаються суспільством (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Графічне зображення економіки як кібернетичної системи

З одного боку, суспільство виступає як споживач, що визначає сукупність вимог до матеріальних благ — результату діяльності економіки, формуючи її у вигляді інформаційної підсистеми суспільних потреб (стосовно асортименту, обсягів, якості матеріальних благ тощо). Із другого боку, суспільство безпосередньо бере участь у процесі виробництва. Розбіжність між суспільними потребами та можливостями їх задоволення є рушієм розвитку економічної системи.

Економіка як система має не лише загальносистемні, а й специфічні властивості. *До загальносистемних властивостей економіки можна віднести її цілісність та подільність, ієрархічність побудови.*

Економіка складається з елементів та підсистем, якими можна вважати її галузі та сектори, окремі господарські одиниці (підприємства, фірми, банки тощо). Цілісність економічної системи полягає в тому, що всі її елементи мають бути засобом досягнення спільних цілей, які постають перед системою в цілому. Забезпечити цілісність економіки покликане управління нею. Адже, як уже зазначалося, цілі окремих підсистем системи можуть суперечити одна одній та цілі всієї системи.

*Ієрархічність* економіки полягає в тому, що вона є підсистемою в системі вищого порядку — у регіональній та світовій економіці, а водночас надсистемами для економіки є природа та суспільство. Окрім цього, кожний її компонент (галузь, підприємство) також є системою. До найважливіших підсистем економіки можна віднести підсистеми управління, виробничу та фінансово-кредитну підсистеми.

Спрощену агреговану графічну модель виробничої підсистеми, що виробляє, розподіляє та споживає продукцію наведено на рис. 2.2 (тут не зображено контурів управління, потоків експорту та імпорту продукції, інформаційних потоків тощо).

Зауважимо, що економіку з огляду на її складність не можна звести до якоїсь однієї ієрархії.

Специфічні властивості національної економіки виникають у процесі взаємодії (кооперації) її підсистем. *Найбільш істотною специфічною особливістю економічної системи є її складність.*

Важливою властивістю складних систем є **емерджентність** — тобто наявність таких специфічних властивостей системи, які не випливають з властивостей, притаманних її елементам, а виникають у процесі їхньої взаємодії як наслідок відповідних кооперативних ефектів. Саме емерджентні властивості економічних систем є найменш доступними для спостереження та вимірювання, що вельми утруднює дослідження таких систем та управління ними. Загаль-

ні закономірності появи нових властивостей, породжуваних об'єднанням економічних об'єктів, явищ та процесів, можна виявити та кількісно описати, лише проаналізувавши значний обсяг інформації.

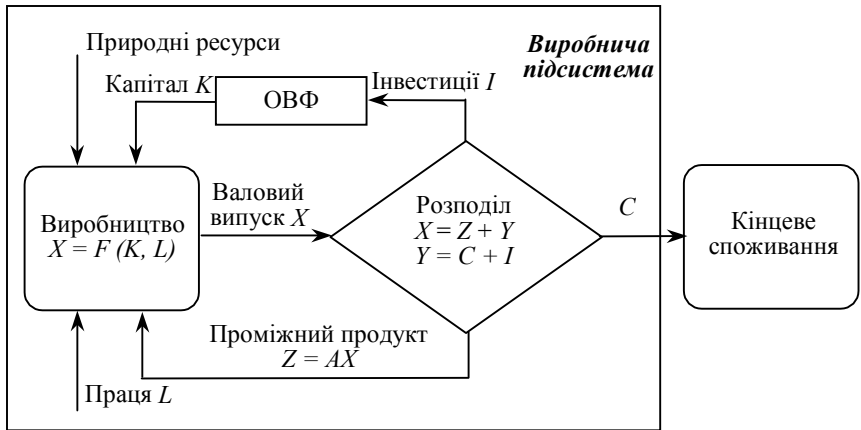


Рис. 2.2. Графічне зображення виробничої підсистеми

Складність економічної системи полягає передусім у тому, що зміна структури, зв'язків та поведження довільного економічного суб'єкта впливає на решту економічних суб'єктів і спричиняє зміну системи в цілому. Водночас будь-яка зміна в системі на макрорівні позначається на структурі, зв'язках та поведженні економічних суб'єктів.

Ще однією ознакою складності економічної системи є наявність великої кількості як прямих, так і зворотних зв'язків (матеріальних, інформаційних) між її елементами та підсистемами.

Суспільство в цілому та економічна сфера як його частина настільки складні, що потребують існування особливої підсистеми, яка має забезпечувати їхню єдність та цілісність. Саме такою є *підсистема управління* (законодавча, виконавча, судова гілки влади, силові структури тощо).

Таким чином, можна виокремити дві сфери економіки: *управління та контролю* і *реальну*. Перша сфера охоплює державу та її територіальні утворення, а друга — підприємства, фірми, організації, домогосподарства та людину, що бере участь у соціально-економічних зв'язках. Усередині кожної сфери та між ними циркулюють потоки інформації. Компоненти цих сфер взаємодіють завдяки наявності в них суперечливої системи потреб та цінностей. Взаємозв'язок компонентів реальної сфери економіки забезпечує ринок.

Отже, подамо основні властивості, притаманні соціально-економічним системам, які необхідно враховувати під час їх дослідження:

- емерджентність як найвищий прояв цілісності та складності;
- динамічність економічних процесів, що полягає у зміні параметрів та структури економічних систем під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів;
- стохастичний характер економічних явищ, з огляду на який для їх опису застосовуються статистичні методи дослідження, а це означає, що поведіння економічних систем не піддається точному детальному опису та прогнозуванню;
- закономірності економічних процесів можна виявити тільки на підставі достатньої кількості спостережень;
- економіка як складна система має здатність до самоорганізації;
- її підсистеми не мають чітких меж: один і той самий елемент (економічний суб'єкт) може одночасно брати участь у різних процесах функціонування економіки, може бути елементом багатьох її підсистем;
- економічні процеси не можна ізолювати від зовнішнього середовища та спостерігати їх у «чистому» вигляді.

Щоб описати економічну систему, необхідно виокремити її компоненти, тобто виконати аналіз (декомпозицію) її структури, визначити її складові (підсистеми, елементи, входи, виходи), а також зв'язки між ними та зовнішнім середовищем.

Залежно від мети дослідження економіки можна брати різні «первинні» елементи: індивіда з його потребами, домогосподарство, елементарну технологічну операцію, підприємство, галузь, усю економіку в цілому. Компоненти та елементи економіки характеризуються складною системою взаємозв'язків — як безпосередніх, так і опосередкованих, прямих і зворотних, функціональних, причинних, інформаційних.

## **2.2. Механізми негативних та позитивних зворотних зв'язків в економіці**

Механізм *негативного зворотного зв'язку* забезпечує відновлення та підтримання рівноваги (порядку) в системі. Цей механізм існує в системах різних типів: природних, технічних, біологічних, економічних тощо. Принцип регулювання за допомогою зворотних зв'язків є одним із ключових у кібернетиці. Якщо значення параметрів регулювання

відхиляються на виході від заданих, що свідчить про порушення рівноваги в системі або про неоптимальний режим її функціонування, то завдяки механізму зворотного зв'язку відбувається таке коригування входів системи, щоб рівновага в ній відновилась. Але повністю компенсувати збурення, особливо коли вони інтенсивні, доволі складно. Це можна зробити лише у штучних технічних системах.

У складніших системах, зокрема біологічних, соціально-економічних, за допомогою механізму негативних зворотних зв'язків підтримується стан *динамічної рівноваги*. Так, у біології відоме явище *гомеостазису* — підтримання стійкої рівноваги між життєво важливими функціями організму, що еволюціонує. У загальнішому сенсі йдеться про підтримання програми функціонування системи. Наприклад, «невидима рука», що в ринковій економіці збалансовує попит і пропозицію, встановлюючи рівноважні ціни, і є механізмом гомеостазису.

Щодо ринкової рівноваги, то вона означає встановлення спонтанного порядку, оскільки немає управляючого органу, який дістає інформацію про відхилення від рівноваги між попитом і пропозицією та

коригує ціни, повертаючи систему до рівноважного стану. Спонтанна рівновага встановлюється на ринку внаслідок взаємодії продавців і споживачів. Кожний із них діє свідомо, маючи власні цілі, але в результаті їхніх спільних дій виникає єдиний для всіх порядок, що полягає у встановленні рівноважних цін та обсягів продукції.

Негативні зворотні зв'язки, компенсуючи відхилення, не завжди повертають систему до вихідних параметрів рівноваги (зокрема, до вихідних значень рівноважних цін та обсягів продукції). Це й означає, що йдеться про динамічну рівновагу.

Згідно з принципом *позитивних зворотних зв'язків* деякі зміни в системі не пригнічуються, а нагромаджуються та підсилюються, що може призводити до кумулятивних ефектів — переходу системи до нерівноважного стану. Далі система або руйнується, або принципово перебудовується зі зміною структури, функцій тощо.

Зауважимо, що терміни «негативні» та «позитивні» стосовно зв'язків означають лише той факт, що негативні зв'язки гасять флуктуації, повертаючи систему до стану рівноваги, а позитивні — підсилюють флуктуації, переводячи систему до нерівноважного стану. При цьому «негативні» зворотні зв'язки можуть нейтралізувати як небажані в системі та середовищі збурення, так і корисні зміни. Коли, скажімо, в економіці застосовується жорстке, централізовано-адміністративне

управління, нерідко корисні інновації, новітні технології, ефективно впровадження яких потребує перебудови структури й законів функціонування економічної системи, зміни свідомості керівників та перебудови підсистеми управління, механізм негативних зворотних зв'язків блокує, повертаючи систему до стану рівноваги, далекого від оптимального.



Рис. 2.3. Приклад дії механізму позитивних зворотних зв'язків — розгортання гіперінфляційної спіралі

Позитивні зворотні зв'язки також можуть відігравати як сприятливу, так і несприятливу роль. Наприклад, зі зростанням інвестицій зростає ефективність виробництва, а це, своєю чергою, сприяє залученню нових інвестицій, які стимулюють



подальше зростання виробництва, і т. д. (формула «капітал на капітал»). Як приклад небажаної, руйнівної дії позитивних зворотних зв'язків можна навести механізм розгортання гіперінфляційної спіралі, коли в нерівноважному стані економіки зростання цін через механізм причинно-наслідкових зв'язків спричиняє подальший виток зростання цін (рис. 2.3).

Підсумовуючи сказане, наголосимо, що кібернетичні системи з вбудованим механізмом зворотних інформаційних зв'язків завдяки залученню до процесу функціонування результатів попередніх дій здатні ефективно самоорганізовуватися та налагоджувати взаємовідносини із середовищем, керувати своїм розвитком, протидіючи негативним флуктуаціям та підтримуючи гомеостатичний стан (динамічну рівновагу). Отже, розгляд економіки як кібернетичної системи має важливе прикладне значення для виявлення контурів прямих та зворотних зв'язків, відстежування інформаційних потоків, створення ефективних організаційних систем управління тощо.

### **2.3. Системний аналіз економічних систем**

З метою дослідження властивостей економічних систем доводиться застосовувати прийоми «системного мислення», яке допомагає розкривати взаємозв'язки між різними складовими систем. Системний підхід дає змогу глибше зрозуміти причини багатьох явищ, які в розрізненому вигляді здаються випадковими, але об'єднані в систему сприяють виявленню закономірностей їх перебігу.

Із системного підходу впливає новий погляд на ефективність функціонування соціально-економічних систем: *взаємодія між окремими частинами системи набагато більше впливає на її ефективність, ніж результативна робота зазначених частин.*

Методики, що реалізують принципи системного аналізу в конкретних умовах, спрямовані на формалізацію процесів дослідження системи, а також постановки та розв'язування проблеми. Ці методики розробляються та використовуються тоді, коли в дослідника нема достатньої інформації про систему, на підставі якої можна було б знайти адекватний метод формального її подання (або розв'язування проблеми).

Спільним для всіх методик системного аналізу є формування варіантів подання системи (процесу розв'язування задачі) та вибір найкращого з них. На різних стадіях дослідження — від інтуїтивної

постановки проблеми до вибору оптимальних розв'язків за допомогою строгих математичних методів — використовуються ті чи ті наукові методи й прийоми, що складаються з кількох етапів аналізу, зміст яких залежить від складності розв'язуваної задачі. Загальну схему етапів системного дослідження наведено на рис. 2.4.

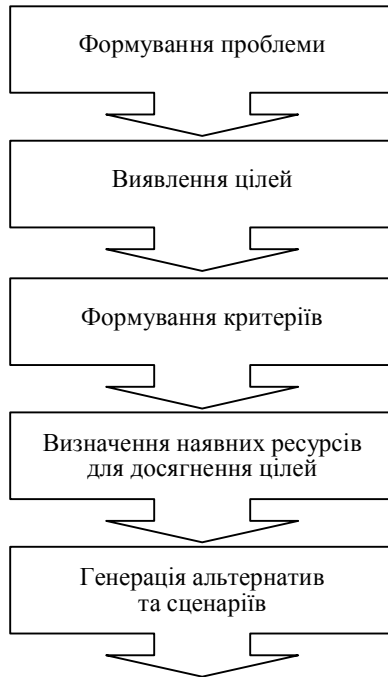


Рис. 2.4. Спрощена схема системного дослідження

Особливо важливе значення системний аналіз має в дослідженні складних економічних систем, таких як галузі і сектори економіки, економіка в цілому та система управління нею. Системний аналіз економіки полягає у вивченні економічних явищ і чинників за допомогою дослідження їх як взаємозв'язаних економічних підсистем єдиної системи народного господарства. Системний аналіз використовується, насамперед, для вивчення цілей розвитку економічного об'єкта, з яких впливатимуть цілі розвитку й удосконалення системи управління.

Розглянемо основні ідеї та концептуальні засади системного підходу на прикладі галузі. Метод системного аналізу на галузевому

рівні має враховувати те, що цілі та перспективи розвитку галузі впливають із загальнодержавних цілей розвитку суспільства та потреби економіки загалом у її продукції й послугах. Галузь як комплекс підприємств, підпорядкованих певному міністерству чи комітету, вивчається у складі відповідного економічного сектору з урахуванням його макроекономічних цілей, які виокремлюються згідно з їхнім місцем у досягненні стратегічних цілей країни.

Галузь розглядається як порівняно ізольована система з урахуванням її технологічної спеціалізації у процесі виробництва; специфіки її економічної організації як самостійної господарської підсистеми; соціальної структури зайнятого в цій галузі населення; її розміщення на території країни тощо.

Окрім того, беруться до уваги всі підсистеми галузі, які частково утворюють самостійні господарські об'єкти, а частково являють собою управлінські організації та різного типу інформаційні системи, через які здійснюється взаємозв'язок складових галузі. Вивчається вона в динаміці її розвитку як у довготерміновій (15—20 років), так і в короткостроковій перспективі, причому з позицій ефективного функціонування в кожний поточний період.

Для системного аналізу використовується комплекс економіко-математичних моделей досліджуваної системи. На галузевому рівні метод математичного моделювання має такі особливості:

- модель розвитку даної галузі являє собою один із блоків загального комплексу моделей розвитку економіки;
- технологія та економіка цієї галузі описуються загальною балансовою економічною моделлю;
- процеси розвитку галузі характеризуються комплексом динамічних моделей, що містить економіко-математичні моделі кожного господарського її об'єкта, адресовані конкретним органам, які керують галуззю;
- увесь комплекс моделей розвитку та поточного функціонування галузі має бути пов'язаний єдиним комплексом критеріїв оптимальності (та відповідних їм планових і облікових показників), які впливають з аналізу ролі галузі в перспективному розвитку економіки.

Процес системного аналізу розвитку галузі можна поділити на чотири стадії.

**Перша стадія** — визначення системи, її загальної мети (яка впливає з розгляду ролі системи в надсистемі) та критеріїв, що

забезпечують подальший вибір оптимального шляху досягнення цієї загальної мети.

Вираження галузевого критерію в кількісній формі забезпечує можливість точного кількісного вираження цілей підсистем, критеріїв оцінювання їх функціонування, а також формування, з одного боку, критеріїв оптимальності для всього взаємозв'язаного комплексу моделей планування і регулювання галузі, а, з другого боку — системи показників та важелів економічного регулювання. Іноді вдається сформулювати критерії тільки на якісному рівні.

**Друга стадія** системного аналізу полягає в побудові й аналізі дерева цілей. Це найбільш трудомісткий і результативний етап роботи. Побудова дерева цілей має доводитись до рівня задач, розв'язування яких уже не викликає принципових труднощів.

**Третя стадія** системного аналізу розвитку галузі починається зі складання вичерпного плану заходів, що мають на меті досягнення цілей галузі. Ці заходи розміщуються на нижньому рівні дерева цілей і добираються за допомогою системи моделей розвитку галузі.

Заходи можуть й поділятися, скажімо, на такі групи:

- економічні;
- адміністративно-правові;
- спрямовані на вдосконалення управління;
- у сфері капіталовкладень і будівництва;
- у сфері науково-технічного прогресу й модернізації фондів.

Щоб забезпечити здійсненність цих заходів, їх потрібно згрупувати також за ознаками компетенції урядових органів, міжвідомчого узгодження.

Найбільш важливим і результативним групуванням заходів є їх поділ за ступенем ефективності. Ефективність розглядається стосовно досягнення цілей, сформульованих у дереві цілей, де, зокрема, досягнення певної економічної ефективності є однією з цілей. Для розрахунку ефективності використовують евристичні методи та алгоритми (наприклад, метод Делфі). Згідно з експертними оцінками заходи групуються в логічній та часовій послідовності.

**Четверта стадія** — діагностування, тобто виявлення всього комплексу актуальних нерозв'язаних проблем, диспропорцій та їх причин. Мета діагнозу — специфікація розроблюваної системи, уточнення вимог до неї, створення організаційного плану послідовної побудови системи, добір засобів та методів управління нею.

Діагноз системи полягає в безпосередньому обстеженні об'єкта та включає в себе, з одного боку, вивчення документації, а з другого — масове виявлення та аналіз думок співробітників.

Абсолютна більшість інформації, яка може бути одержана при обстеженні, відноситься не до «хвороб» управління, а швидше до симптомів, в яких виявляється розлад інформаційної системи управління. Як правило, причини цих розладів усвідомлюються рідко, тому головна мета діагнозу — встановити ці причини. На основі аналізу матеріалів опитування визначається комплекс симптомів розладу управління в термінах «недоліків управління»; на підставі такого аналізу виявляються розлади інформаційної системи та їх причини; добираються інформаційні механізми управління; формулюються їх взаємозв'язані комплекси.

Діагностичний аналіз проблем управління економікою в цілому складається з таких основних етапів:

- виявлення проблем управління на основі вивчення симптомів і дисфункцій міжгалузевих, територіально-виробничих, технологічних, функціональних комплексів та економіки в цілому;

- ідентифікація та опис проблем;
- побудова дерева проблем;
- виявлення першочергових проблем і розробка рекомендацій щодо послідовності їх розв'язання;
- добір методів і засобів для розв'язання першочергових проблем з оцінювання ефективності їх реалізації;
- уточнення дерева цілей, комплексів моделей та алгоритмів;
- розробка організаційного проекту створення інформаційної системи.

Діагностика виконується в межах міжгалузевих, територіально-промислових, технологічних та функціональних комплексів економіки.

Результати діагностичного аналізу на макроекономічному рівні мають містити уточнений варіант дерева цілей і критеріїв розвитку економіки та пов'язані з ним дерева цілей міжгалузевих, територіально-виробничих, технологічних і функціональних комплексів; перелік основних проблем кожного комплексу, їх зв'язок між собою та проблемами розвитку економіки в цілому (дерево проблем); перелік і зв'язок основних дисфункцій з кожного комплексу у виробничому та управлінському аспектах за основними напрямками діяльності; аналіз основних причин виникнення проблем і дисфункцій;

конкретні рекомендації щодо вдосконалення чинної системи планування і управління, згруповані за основними напрямками діяльності; проект організаційного плану науково-дослідних, проектно-конструкторських і дослідно-впроваджувальних робіт; уточнений варіант сіткового графіка створення системи тощо.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Як ви розумієте термін «соціально-економічна система»?
2. Чим характеризуються соціально-економічні системи?
3. У чому полягають емерджентні властивості економіки?
4. Дайте опис соціально-економічних систем різних типів (підприємство, фінансово-кредитні установи, галузі економіки, органи державного управління, економіки в цілому) як кібернетичних систем.
5. Наведіть приклади негативних та позитивних зворотних зв'язків в економіці.
6. В чому полягає сутність застосування системного підходу до дослідження соціально-економічних систем?
7. Наведіть основні етапи проведення системного дослідження соціально-економічних систем.

### **Список додаткової літератури до розділу 1**

1. *Богданов А. А.* Тектология: Всеобщая организационная наука. В 2 кн. / Под ред. Л. И. Абалкина. — М.: Экономика, 1989.
2. *Винер Н. Я.* — математик. — М.: Наука, 1967. — 234 с.
3. *Гелднер К.* Кибернетика и ее будущее: Пер. с нем. — М.: Радио и связь, 1983. — 96 с.
4. *Дружинин В. В., Конторов Д. С.* Системотехника. — М.: Радио и связь, 1985. — 200 с.
5. Исследования по общей теории систем. Сб. статей: Пер с англ. и польск. — М.: Прогресс, 1969. — 520 с.
6. Кибернетика и ноосфера. — М.: Наука, 1986. — 160 с.
7. *Клаус Г.* Кибернетика и общество. — М.: Прогресс, 1967. — 432 с.
8. *Клаус Г.* Кибернетика и философия. — М.: ИЛ, 1963. — 531 с.
9. *Моисеев В. Д.* Центральные идеи и философские основы кибернетики. — М.: Мысль, 1965. — 326 с.
10. *Моисеев Н. Н.* Люди и кибернетика. — М.: Мол. Гвардия, 1984. — 224 с.
11. *Николаев В. И., Брук В. М.* Системотехника: методы и приложения. — Л.: Машиностроение, 1985.
12. *Оптнер С. Л.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. — М.: Сов. радио, 1969.
13. *Острейковский В. А.* Теория систем. — М.: Высш. шк., 1997. — 240 с.
14. *Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П.* Введение в системный анализ. — М.: Высш. шк., 1989. — 367 с.

15. Пономаренко О. І., Пономаренко В. О. Системні методи в економіці, менеджменті та бізнесі. — К.: Либідь, 1995. — 240 с.

16. Шарпов А. Д., Сиднев С. В. Системный анализ. Учеб. пособие. — К.: Техника, 1993. — 573 с.

17. Шарпов О. Д., Дербенцев В. Д., Семьонов Д. Є. Системний аналіз. Навч.-метод. посібник для самост. вивчення дисципліни. — К.: КНЕУ, 2003. — 154 с.

## РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

### ТЕМА 3. ЕКОНОМІЧНА ІНФОРМАЦІЯ ТА ЕКОНОМІЧНІ ДАНІ

#### 3.1. Інформація

Інформація — одне з головних понять кібернетики. Незважаючи на інтуїтивну зрозумілість терміна «інформація» та його велике значення для багатьох наукових дисциплін, не існує його загальноприйнятого визначення. У побуті слово «інформація» ототожнюється зі змістом якихось відомостей, які можуть набирати форми усного повідомлення, листа, доповіді, результатів деякого дослідження, спостереження тощо.

Залежно від галузі дослідження та від класу розв'язуваних задач користуються різними визначеннями інформації. Розглянемо кілька підходів до визначення інформації.

**Інформація** — це сукупність сигналів, сприйраних нашою свідомістю, які відбивають ті чи інші властивості об'єктів і явищ зовнішнього світу. Природа цих сигналів передбачає наявність принципової можливості їх зберігання, передавання та обробки [12].

Наведене визначення має суто описовий, пояснювальний характер, не претендуючи на строгість та всебічність. Наведемо інші визначення інформації.

**Інформація** — це позначення змісту, який здобуто із зовнішнього світу (Н. Вінер);

**Інформація** — це спосіб передавання різноманітності (Р. Ешбі [45]);

**Інформація** — це комунікація, зв'язок, у процесі якого зменшується невизначеність (К. Шенон [11]).

Останнє визначення спирається на схематичне подання процесу передавання інформації, згідно з яким можна виокремити передавач та приймач інформації. Унаслідок їх взаємодії і виникає інформація — деяке повідомлення, що тим чи іншим способом зменшує необізнаність споживача (приймача) щодо деякого факту, об'єкта, явища.

*У кібернетиці, визначаючи термін «інформація», акцентують увагу на тому факті, що вона усуває невизначеність, розуміючи **інформацію** як повідомлення, відомості про якусь подію, чийсь діяльність чи розвиток якогось процесу, що зменшує нашу необізнаність про зазначені явища.*

Більш повно можна визначити інформацію, зіставляючи це поняття з іншими важливими поняттями того самого термінологічного ряду, а саме: «знання» і «дані».

*Під **даними**, як правило, розуміють інформацію, подану в певних формах, адекватних можливим процесам її обробки.*

***Знання** — це інформація, на основі якої за допомогою логічних міркувань можна дістати певні висновки.*

Розглянемо взаємозв'язок між цими поняттями. У світі безперервно відбуваються події, що полягають у змінюванні станів об'єктів. Ці події (точніше, не вони самі, а люди, які планують або реєструють їх) породжують повідомлення, які можна зафіксувати на довільному носії в деякій знаковій системі. Сукупність повідомлень та фактів про реальні події, що не співвіднесені з можливостями їх використання, називають **даними**.

Якщо ці дані досягають певного споживача і якщо він співвідносить здобуті дані з певними можливостями їх використання (наприклад, формулює деяку нову задачу управління), то в цьому разі дані несуть певні знання. Отже, **знання** — це комунікація, зв'язок об'єкта і спостерігача (знання спостерігача про об'єкт).

Якщо ж спостерігач розв'язує певну задачу управління об'єктом, то повідомлення, передані за допомогою даних, які безпосередньо корисні йому під час розв'язування задачі, розглядатимуться як інформація. Таким чином, інформація існує лише в системі, що складається зі спостерігача, задачі та об'єкта дослідження.

### **3.2. Дані та операції з ними**



У ході інформаційного процесу дані перетворюються з одного виду на інший за допомогою певних методів. Обробка даних містить багато різних операцій. Розглянемо основні операції, виконувані з даними:

✓ *збір даних* — нагромадження даних з метою забезпечення повноти тієї чи іншої інформації для прийняття рішень;

✓ *формалізація даних* — зведення даних, здобутих із різних джерел, до однакової форми з метою зробити їх порівнянними;

✓ *фільтрація даних* — відсіювання зайвих (таких, в яких немає потреби під час прийняття рішень) даних. При цьому має знижуватись рівень «шуму» і зростати достовірність та адекватність даних;

✓ *сортування даних* — впорядкування даних за деяким критерієм з метою їх якомога зручнішого використання;

✓ *архівування* — організація зберігання даних у зручній, компактній формі з метою зниження економічних витрат на зберігання та підвищення надійності інформаційної системи (ІС);

✓ *захист* — комплекс дій, спрямованих на запобігання втратам, модифікації або несанкціонованому доступу до даних та їх тиражуванню;

✓ *транспортування* — приймання та передавання даних між віддаленими учасниками інформаційного процесу;

✓ *перетворення даних* — тобто перетворення даних з однієї форми або структури на іншу. Таке перетворення може бути пов'язане зі зміною типу фізичного носія. Наприклад, у результаті сканування дані, що містяться на паперовому носії, набирають електронної форми. Перетворюють дані передусім з метою їх транспортування. Так, для передавання цифрових даних за допомогою телефонних мереж необхідно перетворити їх до аналогового вигляду за допомогою спеціального пристрою — модема.

**Форми подання даних, структури даних.** Робота з великими обсягами інформації автоматизується набагато простіше, коли дані впорядковані, тобто утворюють певну структуру. Структура інформації — це те, що відбиває взаємозв'язки між її складовими (елементами).

Якщо дані зберігаються в організованій формі, тобто певним чином впорядковані (структуровані), то кожний елемент даних набуває нової властивості, яку можна назвати *адресою*, що визначає розміщення, розташування, місцезнаходження цього елемента стосовно решти.

Найпоширенішими є такі три типи структур: лінійні, ієрархічні, табличні.

**Лінійні структури** — це добре відомі списки. Список — найпростіша структура даних, в якій кожний елемент однозначно визначається своїм номером. Наприклад, журнал відвідування студентами занять має структуру списку, оскільки кожний студент групи зареєстрований під своїм унікальним номером. Отже, лінійні структури даних — це впорядковані структури, в яких адреса елемента однозначно визначається його номером.

**Табличні структури** відрізняються від лінійних тим, що елементи даних визначаються адресою комірки, яка складається не з одного параметра, а з кількох. Зокрема, для прямокутних таблиць адреса комірки визначається номером рядка та номером стовпця. Згадуваний уже журнал відвідування можна розглядати і як табличну структуру. Узагальненням двовимірних (прямокутних) таблиць є багатовимірні таблиці.

**Ієрархічні структури.** Дані, які важко подати у вигляді списків та таблиць, часто подають у вигляді ієрархічних структур. В ієрархічній структурі адреса кожного елемента визначається шляхом доступу (маршрутом), що веде з вершини структури до кожного елемента.

Структури у вигляді списків і таблиць найпростіші. Ними легко користуватись, а до того ж їх неважко впорядковувати. Основним методом впорядкування є сортування. Дані можна відсортовувати за довільно обраним критерієм, наприклад, за абеткою, за зростанням порядкового номера тощо.

Але прості структури, незважаючи на всю їхню зручність, мають певні недоліки. Передусім їх важко поновлювати, оскільки з додаванням до таких впорядкованих структур довільного елемента можуть змінюватись адреси інших елементів. Тому в системах автоматичної обробки інформації необхідні спеціальні засоби для розв'язання цієї проблеми.

Ієрархічні структури за формою складніші, але в них не постає проблем з оновленням даних. Їх легко розвивати, створюючи нові рівні. Недоліком ієрархічних структур є трудомісткість запису адреси елемента, зумовлена зростанням шляху доступу, а також складність їх упорядкування.

### **3.3. Кодування інформації**

Розглянемо основні поняття, що пов'язані з кодуванням та передаванням інформації. **Подією** називатимемо кожну кількісну

чи якісну визначеність станів динамічної системи, яка фіксується спостереженнями .

Можна кожному стану системи поставити у відповідність певне значення чи послідовність значень деякої величини. За допомогою цієї величини можна здійснити передавання повідомлення (відомостей про подію, інформації про подію) від одного об'єкта до іншого.

*Фізичний процес, що являє собою матеріальне втілення повідомлення, називається **сигналом**.*

*Система або середовище, де здійснюється передавання сигналу, називається **каналом зв'язку**.*

Будь-які повідомлення, що підлягають передаванню по каналах зв'язку, переробці в кібернетичній системі, мають бути попередньо **закодовані**, тобто «перекладені» мовою сигналів.

**Кодування** можна визначити як процес подання інформації у вигляді деякої послідовності символів (кодових комбінацій). При цьому таку послідовність, у свою чергу, можна подати (перекодувати) у вигляді сукупностей фізичних сигналів тієї чи іншої природи — акустичних, оптичних, електричних тощо.

Наведемо приклад природного кодування. Нехай ви спостерігаєте деякий пейзаж. До вашого ока надходить інформація про це у вигляді світлових сигналів (фотонів). Ці сигнали сітківкою ока перекодуються в інші сигнали, що по нейронних ланцюгах надходять до головного мозку. Там ці сигнали перекодовуються в образи, які далі перекодовуються в певні відчуття.

Проте якщо потрібно цю інформацію зафіксувати на папері, її доводиться перекодовувати у вигляді букв та їх поєднань. А щоб цю інформацію повідомити комусь по телефону, її необхідно ще перекодувати у звукові коливання. Потім телефон ще раз закодує звукові коливання в електричні імпульси, які по телефонних лініях (каналах зв'язку) надійдуть на приймальний пристрій адресата, де відбудеться декодування електричних імпульсів у звукові коливання. Нарешті, ці коливання надійдуть адресатові (до його вуха), де він їх декодує в образи, або в текст.

Наведемо більш строге визначення кодування. Нехай дано довільну множину  $A$ , яку потрібно відобразити в іншу множину  $B$ . У цій множині  $B$  є скінченна кількість символів (знаків), що називається **алфавітом**. Наприклад, в абетці Морзе три символи (крапка, тире і прогалина), в англійській мові — 26 букв плюс прогалина і т. ін.

Кількість різних символів (букв), що входять до алфавіту, називається **обсягом алфавіту**. У цій множині  $B$  за певними правилами можна будувати послідовності символів, що називаються **словами**.

**Кодуванням** називається відображення довільної множини  $A$  у множину скінчених послідовностей (слів), утворених за допомогою деякого алфавіту множини  $B$ , а **декодуванням** — обернене відображення.

**Кодом** називається сукупність знаків (символів) алфавіту  $B$  і слів, складених із них за певними правилами і призначених для однозначного відображення множини  $A$  у множину  $B$ .

До будь-якої системи кодування висуваються такі основні вимоги:

1) взаємна однозначність перетворень відображуваної множини  $A$  у множину  $B$ , що її відображує в результаті кодування та оберненого перетворення (декодування) — необхідна умова відсутності помилок в інтерпретації вихідної інформації;

2) економічність кодування, забезпечується, насамперед, мінімізацією середньої довжини комбінацій, а отже, і довжини інформаційних текстів, завдяки чому заощаджується не лише час передавання тексту, а й носії інформації;

3) збоєстійкість, тобто можливість виявлення та виправлення помилок у кодових комбінаціях під впливом тих чи інших перешкод та збоїв.

Зауважимо, що друга і третя вимоги взаємно суперечливі, оскільки підвищення збоєстійкості кодів досягається збільшенням довжини слів, через що знижується економічність систем кодування.

У техніці зв'язку й обробки інформації розроблено багато різних способів кодування, що забезпечують більш-менш вдалий компроміс у виконанні цих вимог у різних кібернетичних системах.

Схематичне зображення системи зв'язку наведено на рис. 3.1. Ця схема відбиває найбільш істотні елементи будь-якої системи зв'язку: комп'ютерної мережі, системи супутникового чи мобільного зв'язку, розмовного каналу між двома співрозмовниками тощо.

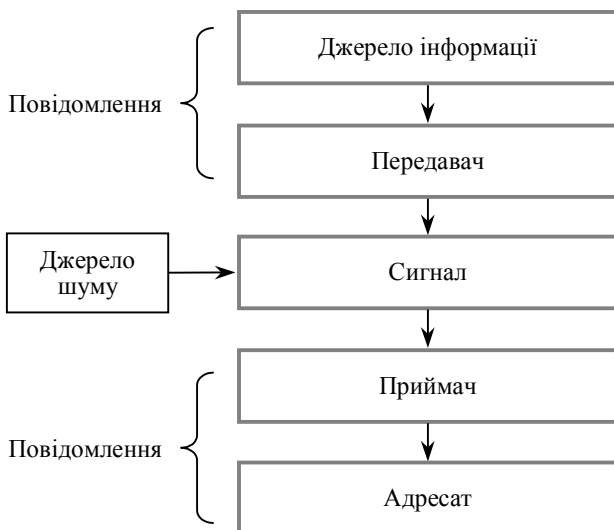


Рис. 3.1. Принципова схема системи зв'язку

Людське мислення у процесі переробки інформації являє собою своєрідний канал зв'язку із шумами, від пропускної здатності якого багато в чому залежить дієвість та ефективність управлінських рішень.

Тоді, коли людина встигає вчасно переробити необхідну для ухвалення рішення інформацію, тобто її канал зв'язку має достатню пропускну здатність і стійкість до шумів, можна очікувати прийняття найбільш ефективних рішень. Якщо терміни переробки та проходження інформації через канал зв'язку (свідомість людини) та час, необхідний для прийняття рішення, не збігаються, то рішення приймається або із запізненням, або в умовах неповної переробки інформації. І перше і друге негативно позначається на функціонуванні соціально-економічних систем.

**Поняття про цифровий код.** Розглянемо питання про вибір цифрового алфавіту для кодування величин, тобто про вибір *системи числення*.

У будь-якій позиційній системі числення деяке число  $N$  визначається виразом

$$N_{(a)} = \sum_{i=1}^n k_i a^{i-1},$$

де  $a$  — основа системи числення (обсяг цифрового алфавіту);  $n$  — кількість розрядів у числі,  $i$  — порядковий номер розряду;

$k_i$  — коефіцієнт, що може набувати  $a$  різних значень  $k_i = 0, 1, 2, \dots, (a - 1)$ .

При цьому запис числа  $N$  у системі з основою  $a$  здійснюється у вигляді

$$N_i = k_n, k_{n-1}, k_{n-2}, \dots, k_2, k_1.$$

Наприклад:

$$27_{(10)} = 2^4 + 2^3 + 2^1 + 2^0 \Rightarrow 27_{(2)} = 11011 = \\ = k_5 2^{5-1} + k_4 2^{4-1} + k_3 2^{3-1} + k_2 2^{2-1} + k_1 2^{1-1}.$$

Зі зменшенням основи  $a$ , тобто спрощенням алфавіту відбувається зміна його кодової комбінації.

Коли йдеться про передавання та електронну обробку інформації, найзручнішою є двійкова система числення, в якій  $a = 2$

$k_i$  може набувати лише двох значень: 0 і 1. Обчислювальні машини, як і інші технічні пристрої, призначені для збереження і переробки інформації, закодованої в двійковій системі числення.

### **3.4. Загальне уявлення про надмірність інформації**

Розгляд питання про надмірність інформації доцільно почати з деяких загальних міркувань, що стосуються структури природної мови. Наприклад, російський алфавіт містить 32 букви. Яку кількість слів різної довжини можна було б скласти, якщо кожне нове сполучення букв означало б і нове слово, і нове поняття. Ця задача комбінаторики зводиться до визначення кількості  $N$  можливих різних розміщень з повтореннями з  $a$  елементів. Відомо, що  $N = a^n$ .

У розглядуваному випадку  $N$  — можлива кількість різних слів,  $a = 32$ ,  $n$  — довжина слів, тобто кількість букв у слові.

Отже, користуючись 32-буквеним алфавітом, можна скласти:

$N_1 = 32^1 = 32$  однобуквених слова;

$N_2 = 32^2 = 1024$  двобуквених слів (наприклад аб, ба, КП, ЛП, ...);

$N_3 = 32^3 = 32768$  трибуквених слів (вол, нал, лал, лаа, ...);

$N_4 = 32^4 > 10^6$  чотирибуквених слів (сіно, лена, ааба, баба, ...);

$N_5 = 32^5 > 30 \times 10^6$  п'ятибуквених слів;

$N_6 = 32^6 > 10^9$  шестибуквених слів.

Загальна кількість слів, що містяться в орфографічних довідниках, двомовних словниках, як правило, не перевищує кількох десятків тисяч — ста тисяч слів.

Отже, користуючись 32-буквеним алфавітом, можна побудувати деяку гіпотетичну мову з 32 768 трибуквеними словами, такими як «ааа», «баа», «ббб» і т. д. Ця мова за кількістю слів цілком може задовольнити потреби повсякденного спілкування. А мова, алфавіт якої складається з чотирьох букв, містила б понад мільйон слів, тобто значно більше, ніж взагалі існує в українській чи будь-якій іншій мові.

Тим часом як в російській, так і в українській мові є слова завдовжки у 18 букв (наприклад, «малокваліфікований»), а середня довжина слова наближається до шести букв.

Таким чином, застосовуючи штучну мову з трибуквеними словами, можна приблизно вдвічі скоротити обсяг книг, тривалість лекцій, телефонних розмов, службового перепису тощо. Однак побудова і використання такої мови практично нездійсненна з кількох причин.

*По-перше*, будь-яка жива мова є продуктом історії, історично сформованих категорій, що дуже непохитно зберігає свою особливу структуру, лексику, граматику. Водночас мова — динамічне явище, яке постійно розвивається. Тому більшість спроб упровадити навіть такі легкі для вивчення і логічно побудовані штучні мови, як есперанто, були невдалими.

*По-друге*, слова штучної мови є незручними для мовлення та важкими для запам'ятовування.

*По-третє*, така мова була б малонадійним засобом спілкування. Справді, будь-яка помилка, перекручування, погано розчутий звук міг би привести до зміни семантичного значення слова. Проте щодо більшості слів будь-якої природної мови, то перекручування чи помилка в букві, як правило, не заважає розпізнати зміст самого слова. Надійність розпізнавання слів досягається за рахунок їхньої зайвої довжини.

У будь-якій природній мові, таким чином, спостерігається **надмірність** — властивість, що характеризує можливість подання тієї самої інформації, тих самих повідомлень у більш економічній формі, тобто коротшими кодами. Як уже зазначалося, надмірність невігідна, оскільки вона призводить до подовження повідомлень.

Усе щойно сказане стосується і так званої **інформаційної надмірності** (чи надмірності кодування), що полягає у використанні слів, кодів, які хоча й містять зайві елементи (символи) з погляду економічності, проте забезпечують надійність повідомлень.

Поряд з інформаційною надмірністю у природних (біологічних) і штучних (технічних) кібернетичних системах для підвищення

надійності використовуються й інші види надмірності: структурна, часова, функціональна.

**Структурна надмірність** полягає в дублюванні чи багаторазовому резервуванні обладнання, тобто тих чи інших органів (у живому організмі) чи деталей машини, агрегатів. Прикладами структурної надмірності в живих організмах може служити наявність у ссавців двох нирок, двох очей, а також великої кількості нервових волокон, що функціонують паралельно.

**Часова надмірність** являє собою сукупність методів підвищення надійності систем за рахунок збільшення часу розв'язання тих чи інших задач передавання та обробки інформації (наприклад, повторне передавання тієї самої інформації; повторне виконання обчислень в одній і тій самій задачі).

**Функціональна надмірність** — це сукупність заходів, спрямованих на забезпечення роботоздатності системи в разі виходу деяких її параметрів (наприклад, напруги, температури, тиску і т. ін.) за межі допустимих, які передбачено умовами нормального функціонування.

Одним із найефективніших засобів підвищення функціональної надійності є введення в систему від'ємних зворотних зв'язків. Скажімо, функціональна надійність живих організмів досягається, передусім, за рахунок дії комплексних механізмів, які реалізуються за допомогою складної системи зворотних зв'язків.

У технічних, виробничих системах функціональна надмірність здійснюється за рахунок керування в контурах негативних зворотних зв'язків, а також різних аварійних систем (аварійна система гасіння пожежі, аварійна система випуску шасі на літаку і т. ін.).

### **3.5. Економічна інформація та її властивості**

Як правило, економічною інформацією вважають фінансово-господарську документацію та показники, що містяться в ній. Але економічна інформація може бути усвідомлена, проаналізована та раціонально використана тільки під час вивчення економічних систем, процесів управління в них та конкретних задач, що розв'язуються в системах управління. Тому в загальному випадку *під економічною інформацією можна розуміти інформацію, що виникає у процесі підготовки й здійснення виробничо-господарської діяльності та використовується для управління цією діяльністю.*



Отже, економічна інформація — це сукупність повідомлень, зміст яких необхідний на різних рівнях планування та управління економічними об'єктами. Із цього погляду під економічною інформацією розуміють [10]:

- знання спостерігача про економічний об'єкт;
- якісні та кількісні характеристики компонентів економічної системи (ЕС);
- сукупність взаємозв'язків між компонентами ЕС;
- відомості, що зменшують невизначеність ситуації в ЕС для спостерігача з погляду розв'язання певної задачі управління;
- нематеріальні складові системи — знання, навички, методи, точніше інформаційні схеми (або інформаційні підсистеми) економічної системи;
- повідомлення, що циркулюють в економічній системі, якими вона обмінюється із середовищем та з іншими економічними системами;
- деякі загальновизнані знання, відомості, правила та звичаї, якими керуються люди й колективи у своїй виробничо-економічній діяльності. Вони існують у вигляді актів державно-економічного законодавства, правових норм господарської діяльності, «контрольних цифр» і показників планування тощо.

Прикладом економічної інформації на рівні підприємств можуть бути, зокрема, технічні характеристики засобів виробництва; опис технологій та умов виробництва; відомості про кадровий склад; відомості про наявні та потрібні ресурси; нормативи, планові завдання; показники, що характеризують ефективність економічної діяльності; відомості стосовно ринкової кон'юнктури тощо.

Для правильного визначення цілей та ефективних методів діяльності необхідно мати відомості, з одного боку, про зовнішнє середовище (*зовнішня інформація*), а з другого — про внутрішній стан та функціонування системи (*внутрішня інформація*).

Для вивчення, ідентифікації та аналізу зовнішнього і внутрішнього середовища застосовують вхідну інформацію, а вихідна інформація є засобом впливу на це середовище або пристосування до нього ЕС. Діяльність ЕС, її реакція на зміну зовнішніх і внутрішніх обставин ґрунтується на аналізі, обробці та синтезі інформації про зміни зовнішніх і внутрішніх умов. Зовнішню інформацію можна класифікувати так:

✓ *Чинне законодавство, урядові заходи, накази, розпорядження і інструкції вищих органів управління.* Ця інформація має особливо важливе значення під час розробки

стратегічних і тактичних планів розвитку і функціонування об'єкта управління.

✓ *Демографічні і соціальні тенденції розвитку суспільства.* Ця інформація важлива для планування обсягів виробництва. Види товарів та послуг значною мірою залежать від загальної чисельності, структури, розміщення та купівельної спроможності населення.

✓ *Економічні тенденції розвитку,* до яких належать обсяг та тенденції зміни ВВП, грошової маси, рівень безробіття, валютний курс, рівень цін, продуктивність праці за галузями та багато інших, що можуть виявитися корисними під час прийняття планових рішень стосовно роботи конкретного об'єкта.

✓ *Рівень та тенденції розвитку технологій за галузями.* Ця інформація може вплинути на планування виробництва нових видів продукції, виробку нових технологічних процесів.

✓ *Чинники виробництва.* Ця інформація характеризує джерела, витрати, розміщення, наявність, доступність і продуктивність основних елементів виробництва (трудові ресурси, виробничі матеріали, обладнання тощо).

✓ *Інформація про попит, якість, надійність та інші характеристики продукції, що випускається.*

✓ *Інформація про стан справ у постачальників, споживачів та конкурентів.*

Повне, вичерпне задоволення потреб в інформації про зовнішнє середовище, мабуть, неможливе. Проте ці потреби потрібно враховувати, незважаючи на незначні можливості окремих систем щодо контролю за зовнішнім середовищем, а також на практичну відсутність можливості побудувати таку автоматизовану інформаційну систему, яка подавала б цю інформацію. Проблема пошуку інформації про навколишнє середовище дуже складна, зокрема тому, що часто дуже важко на етапі пошуку визначити, стосується вона задачі, що розв'язується, чи ні, а також чи буде її використано.

Можна виокремити кілька способів пошуку інформації. Насамперед, це пасивне спостереження. Фахівці, що вивчають навколишнє середовище, не ставлять перед собою конкретних цілей пошуку, вони лише збирають дані про загальні тенденції, які можуть бути корисними тепер або в майбутньому. У такій діяльності вони вдаються до аналізу електронних та друкованих засобів масової інформації, користуються послугами мережі Інтернет, опрацьовують спеціалізовані журнали та монографії,

проводять бесіди, беруть участь у конференціях, симпозиумах, нарадах тощо.

Ще одним методом пошуку інформації про навколишнє середовище є цільове спостереження (моніторинг) — увага звертається на певну сферу діяльності.

Інформація, що характеризує внутрішній стан системи, має важливе значення для планування та оперативного управління. У цьому разі внутрішня інформація виявляється важливішою, ніж інформація про навколишнє середовище. Внутрішня інформація призначена для ліквідації відхилень між реальною ситуацією та плановими показниками, а також для виявлення сильних і слабких сторін системи.

Внутрішню інформацію можна поділити на *виробничу, фінансово-економічну*, на інформацію про діяльність різних підсистем у системі, інформацію про використання матеріальних, енергетичних та кадрових ресурсів у системі, інформацію про систему управління тощо.

Економічну інформацію класифікують як *первинну* та *похідну*. Природно, що для кожної економічної системи будуть свої власні межі між первинною і похідною інформацією. У кожному випадку первинною інформацією буде та, що надійшла до системи зовні, а похідною — перероблена всередині системи.

Що ж стосується найважливіших відмітних особливостей інформації взагалі та економічної інформації зокрема, то до них можна віднести:

- *повноту*, яка відбиває її достатність для прийняття управлінських рішень або для створення на базі неї нової інформації;

- *достовірність* (адекватність) — ступінь відповідності інформації реальному стану об'єктивної дійсності;

- *цінність* (*корисність*), що характеризує, якою мірою вона сприяє досягненню цілей та завдань споживача (наприклад, системи управління);

- *коректність* — таке поєднання форми та змісту інформації, за якого забезпечується її однозначне сприйняття всіма споживачами;

- *актуальність* — ступінь своєчасності інформації, її відповідності поточному моменту часу, а також її адекватності дійсному стану досліджуваного об'єкта.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Поясніть, чим, на вашу думку, відрізняються поняття «інформація», «дані», «знання».
2. Охарактеризуйте основні операції, що виконуються над даними.
3. Як ви розумієте «надмірність інформації»? Наведіть приклади.
4. Наведіть принципову схему системи зв'язку та поясніть основні етапи проходження інформації по ній.
5. У чому полягають принципи кодування інформації?
6. Які основні властивості економічної інформації вам відомі?

## **ТЕМА 4. ОСНОВИ СТАТИСТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ**

### **4.1. Ентропія як міра ступеня невизначеності**

Однією з головних властивостей навколишнього світу та подій, явищ, які в ньому відбуваються, є відсутність повної впевненості щодо їх настання. Це створює невизначеність у плануванні наших дій. Але зрозуміло, що ступінь цієї невизначеності залежно від ситуації випадках буде різною.

У процесі управління економічними системами (наприклад, виробництвом) постійно існує невизначеність щодо стану справ у керованому об'єкті та його дій (поводження) у той чи інший момент. Необхідно знати, як забезпечується виконання встановленої програми, плану дій, які справи з матеріально-технічним, фінансовим, енергетичним, інформаційним забезпеченням. Необхідно також мати вичерпну інформацію щодо стану ринкової кон'юнктури, економічної політики державних органів управління, діяльності конкурентів, партнерів, споживачів тощо. Невизначеність виникає і щодо вибору найбільш доцільного рішення з множини можливих (керувальний вплив). Для того щоб усунути цю невизначеність, необхідна інформація.

На практиці важливо вміти чисельно оцінювати ступінь невизначеності. Розглянемо випробування, яке має  $K$  рівноможливих результатів. Зрозуміло, що коли  $K = 1$ , результат випробувань не є випадковим і жодної невизначеності немає. Зі збільшенням  $K$  невизначеність зростає. Отже, числова характеристика невизначеності  $f(K)$  має бути  $f(1) = 0$  і зростати зі збільшенням  $K$ . Розглянемо два незалежні випробування  $\alpha$  і  $\beta$ . Нехай випробування  $\alpha$  має  $m$ , а випробування  $\beta$  —  $n$  результатів.

Добуток подій  $\alpha\beta$  матиме  $mn$  результатів. Незвизначеність випробування  $\alpha\beta$  буде більшою і від  $\alpha$ , і від  $\beta$ .

Природно припустити, що ступінь невизначеності випробування  $\alpha\beta$  дорівнює сумі невизначеностей, які характеризують випробування  $\alpha$  і  $\beta$ . Звідси дістаємо таку умову:  $f(mn) = f(m) + f(n)$ .

Визначимо вигляд цієї функції. Неважко переконатись, що логарифмічна функція  $y = \log(x)$  — єдина, яка має наведені властивості:

$$\log 1 = 0; \log x_2 > \log x_1 \text{ при } x_2 > x_1; \log(mn) = \log m + \log n.$$

Вибір основи системи логарифмів не принциповий, оскільки згідно з формулою  $\log_a = \log_b a \log_b$  перехід від однієї основи логарифмів до іншої зводиться до множення на коефіцієнт пропорційності.

У теорії інформації за основу логарифмів беруть число 2, тобто  $f(K) = \log_2(K)$ . Оскільки  $\log_2 2 = 1$ , то це означає: за одиницю вимірювання невизначеності взято невизначеність, яка міститься у випробуванні, що має два рівноможливі результати (наприклад, у випробуванні з підкиданням монети).

Така одиниця вимірювання невизначеності називається бітом (bit — binary digit — двійкова цифра).

Розглянемо випробування, що має  $K$  рівноймовірних результатів. Тоді таблицю результатів можна подати у вигляді табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати	$A_1$	$A_2$	...	$A_k$
Імовірність	$1/K$	$1/K$	...	$1/K$

Оскільки загальна невизначеність випробування дорівнює  $\log K$ , то можна вважати, що кожний окремий результат вносить у середньому таку невизначеність:

$$\frac{\log K}{K} = \frac{1}{K} \log K = \frac{-1}{K} \log K^{-1} = -\frac{1}{K} \log \frac{1}{K} = -P(A_i) \log P(A_i).$$

Щоб обчислити повну невизначеність, знайдемо суму невизначеностей усіх результатів:

$$-\sum_{i=1}^n P(A_i) \log P(A_i) = -\left(-\frac{1}{K}\right) K \log K = \log K .$$

Якщо ж результати випробувань мають різні ймовірності (табл. 4.2), то повна невизначеність буде така:

$$f(k) = -\sum P(A_i) \log_2 P(A_i) .$$

Таблиця 4.2

Результати	$A_1$	$A_2$	.....	$A_k$
Імовірність	$P(A_1)$	$P(A_2)$	.....	$P(A_k)$

Цю величину (за аналогією зі статистичною фізикою) називають **ентропією**. Отже, ентропія випробування  $\alpha$  подається у вигляді

$$H(\alpha) = -\sum_{i=1}^n P(A_i) \log_2 P(A_i) .$$

**Властивості ентропії.** 1.  $H(\alpha) \geq 0$  — додатно визначена функція ймовірностей  $P(A_i)$ . Справді:

$$P(A_i) \leq 1 \Rightarrow \log P(A_i) \leq 0 \Rightarrow P(A_i) \log P(A_i) \leq 0 .$$

2.  $H(\alpha) = 0 \Rightarrow$  якщо  $P_j = 1$ , решта  $P_i = 0$ . У цьому випадку невизначеності немає:

$$Y = P_j \log_2 P_j = 1 \cdot \log_2 1 = 0, \text{ а решта членів } P_i \log P_i = \lim_{P_i \rightarrow 0} P_i \log P_i = 0 .$$

3.  $\max H(\alpha) = \max[-\sum P(A_i) \log P(A_i)] = \log K$  при  $P(A_1) = \dots = P(A_k) = \frac{1}{k}$ , тобто  $\max H(\alpha)$  досягається за рівноможливих результатах.

Розглянемо два незалежні випробування (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

$X$	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$
$P$	$p_1$	$p_2$	...	$p_n$
$Y$	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_m$
$P$	$q_1$	$q_2$	...	$Q_m$

*Означення.* Об'єднанням двох систем  $X$  і  $Y$  із можливими станами  $x = \{x_1, \dots, x_n\}$  і  $y = \{y_1, \dots, y_m\}$  називають складну систему  $(X, Y)$ , стан якої  $(x_i, y_j)$  містить усі можливі значення (комбінації) станів  $x_i, y_j$  систем  $X, Y$ .

Очевидно, що кількість можливих станів системи  $(X, Y)$  буде  $nm$ . Нехай  $P_{ij}$  — імовірність того, що система  $(X, Y)$  перебуватиме у стані  $(x_i, y_j)$ :  $P_{ij} = P[(X = x_i), (Y = y_i)]$  (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$
$y_1$	$P_{11}$	$P_{12}$	...	$P_{1n}$
$y_2$	$P_{21}$	$P_{22}$	...	$P_{2n}$
...	...	...	...	...
$y_m$	$P_{m1}$	$P_{m2}$	...	$P_{mn}$

За означенням маємо:

$$H(x, y) = -\sum_i \sum_j P_{ij} \log P_{ij}, \quad H(x, y) = M[-\log P(x, y)].$$

Якщо системи  $X$  і  $Y$  незалежні, то  $P_{ij} = p_i q_j$ . Звідси випливає:

$$\begin{aligned} H(x, y) &= -\sum_i \sum_j p_i q_j \log p_i q_j = -\sum_i \sum_j [(p_i \log p_i) q_i + (q_j \log q_j) p_j] = \\ &= \sum_j q_j \sum_i p_i \log p_i + \sum_i p_i \sum_j q_j \log q_j = H(X) + H(Y). \end{aligned}$$

Отже, для незалежних систем виконується рівність:  $H(X, Y) = H(X) + H(Y)$ .

Цей висновок можна узагальнити на скінченну кількість систем: у результаті об'єднання незалежних систем їхні ентропії додаються:

$$H(X_1, X_2, \dots, X_S) = \sum_{j=1}^S H_j(X_j).$$

**Умовна ентропія.** Нехай маємо дві системи  $X$  і  $Y$ , які в загальному випадку залежні. Припустимо, що система  $X$  набула значення  $x_i$ . Позначимо через  $P(y_j/x_i)$  умовну ймовірність того, що система  $Y$  набуде стану  $y_j$  за умови, що система  $X$  перебуває у стані  $x_i$ :

$$P(y_j / x_i) = P(Y = y_j / X = x_i).$$

Визначимо умовну ентропію системи  $Y$  за умови, що система  $X$  перебуває у стані  $x_i$ :

$$H(y/x_i) = -\sum_j P(y/x_i) \log P(y/x_i) = M_{x_i}[-\log P(y/x_i)], \quad (4.1)$$

де  $M_{x_i}$  — оператор умовного математичного сподівання величини, що міститься в дужках, за умови  $X \sim x_i$ .

Умовна ентропія залежить від того стану  $x_i$ , якого набула система  $X$ ; для одних станів вона більша, для інших менша. Визначимо середню або повну ентропію системи  $Y$ , ураховуючи, що система може набувати будь-яких значень. Для цього кожен умовну ентропію (4.1) помножимо на ймовірність відповідного стану  $P_i$ , а далі всі такі добутки додамо.

Отже, позначимо повну умовну ентропію через  $H(Y/X)$ . Тоді величина

$$H(Y/X) = \sum p_i H(Y/x_i) \quad (4.2)$$

за означенням буде *повною умовною ентропією*.

Скориставшись формулою (3.1) та взявши до уваги, що  $p_i H \times (Y/x_i) = P_{ij}$ , можна одержати:

$$H(Y/X) = M[-\log P(Y/X)] = -\sum_i \sum_j P_{ij} \log P(y_j/x_i). \quad (4.3)$$

Величина  $H(Y/X)$  характеризує ступінь невизначеності системи  $Y$ , що залишається після того, як стан системи  $X$  цілком визначився. Її називають **повною умовною ентропією** системи  $Y$  відносно  $X$ .

Для умовної ентропії справджується таке твердження: *якщо дві системи  $X$  та  $Y$  поєднуються в одну, то ентропія об'єднаної системи буде дорівнювати сумі ентропії однієї з них та умовної ентропії іншої щодо першої*:

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y/X); \quad H(X, Y) = H(Y) + H(X/Y). \quad (4.4)$$

У частинному випадку, коли системи  $X$  і  $Y$  незалежні, тобто  $H(Y/X) = H(Y)$ , маємо рівність:

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y),$$

а в загальному випадку виконується нерівність:

$$H(X, Y) \leq H(X) + H(Y). \quad (4.5)$$

Співвідношення (4.5) випливає з того, що повна умовна ентропія не може перевищувати безумовної:  $H(Y/X) \leq H(Y)$ .



Розглянемо інший крайній випадок, коли станом однієї із систем  $X$  цілком визначається стан іншої  $Y$ . Тоді  $H(Y/X) = 0$ , а отже, маємо

$$H(X, Y) = H(X) = H(Y).$$

Інтуїтивно зрозуміло, що ступінь невизначеності системи не може зрости через те, що стан якоїсь іншої системи став відомим. Зі співвідношення (4.5) випливає, що невизначеність системи, її ентропія досягає максимуму, коли система незалежна.

## 4.2. Ентропія та інформація

Щойно ентропію було розглянуто як міру невизначеності системи. Зрозуміло, що з появою нових відомостей невизначеність може зменшитися. Чим більший обсяг зазначених відомостей, тим більше буде інформації про систему і тим менш невизначеним буде її стан. *Тому кількість інформації можна вимірювати зменшенням ентропії цієї системи, для уточнення стану якої призначено відомості.*

Розглянемо деяку систему  $X$ , щодо якої виконуються спостереження, і оцінимо інформацію, здобуту в результаті того, що стан системи став цілком відомим. До отримання відомостей ентропія системи була  $H(X)$ , а коли їх було отримано, стан системи цілком визначився, тобто ентропія стала дорівнювати нулю. Нехай  $I_x$  — інформація, здобута в результаті з'ясування стану системи  $X$ . Вона дорівнює зменшенню ентропії:

$$I_x = H(X) - 0 \Rightarrow I_x = H(X), \quad (4.6)$$

тобто кількість здобуваної інформації в разі повного з'ясування стану деякої фізичної системи дорівнює ентропії цієї системи. Формулу (4.6) можна записати докладніше:

$$I_x = -\sum P_i \log P_i, \quad (4.7)$$

де  $P_i = P(X = x_i)$ . Співвідношення (4.7) означає, що інформація  $I_x$  є усередненим (за всіма станами системи) значенням логарифма ймовірності стану (зі знаком «мінус»). Кожний окремий доданок ( $-\log P_i$ ) можна розглядати як часткову інформацію від окремого повідомлення, яке полягає в тому, що система  $X$  перебуває у стані  $x_i$ . Позначивши цю інформацію через  $I_{x_i}$ , дістанемо:

$$I_{x_i} = -\log P_i. \quad (4.8)$$

Тоді інформація  $I_x$  буде середньою (повною) інформацією, що її було отримано від усіх можливих окремих повідомлень:

$$I_x = -\sum P_i \log P_i = M(-\log P(X)), \quad (4.9)$$

де  $X$  — кожний (випадковий) стан системи  $X$ .

Оскільки  $0 \leq P_i \leq 1$ , то як часткова  $I_x$ , так і повна  $I_x$  невід'ємні. Якщо всі можливі стани рівноможливі ( $P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1/n$ ), то

$$I_{x_i} = -\log p = \log n, \quad I_{x_i} = n \left( \frac{1}{n} \log n \right) = \log n.$$

Ми розглядали інформацію про стан деякої системи  $X$ , отриману за допомогою безпосереднього її спостереження. На практиці система  $X$  найчастіше буває недоступна безпосередньому спостереженню, і стан її з'ясується за допомогою деякої системи  $Y$ , певним чином пов'язаної з нею. Наприклад, замість безпосереднього спостереження за літаком ведеться спостереження за екраном локатора і т. ін.

Розбіжності між системою  $X$ , яка нас безпосередньо цікавить, і спостережуваною системою  $Y$  можуть бути двох типів.

1. Розходження за рахунок того, що система  $Y$  «грубіша», менш різноманітна, є гомоморфним образом  $X$ , тому деякі стани  $X$  не відображуються в  $Y$ .

2. Розбіжності за рахунок помилок: неточностей вимірювання параметрів системи  $X$  і помилок у передаванні повідомлень.

У разі, коли зазначені системи  $X$  та  $Y$  різні, постає запитання: яку кількість інформації про систему  $X$  дасть спостереження над системою  $Y$ ?

Природно визначити цю інформацію як зменшення ентропії системи  $X$  в результаті отримання відомостей про стан системи  $Y$ :

$$I_{Y \rightarrow X} = H(X) - H(X/Y). \quad (4.10)$$

Справді, доти, доки відомостей про систему  $Y$  не було, ентропія системи  $X$  становила  $H(X)$ . Після отримання відомостей «залишкова» ентропія стала  $H(X/Y)$ . Отож знищена відомостями ентропія і є інформація  $I_{Y \rightarrow X}$ .

Величину  $I_{Y \rightarrow X}$  називають **повною, або середньою, інформацією** про систему  $X$ , що міститься в системі  $Y$ .

Можна довести, що  $I_{Y \rightarrow X} = I_{X \rightarrow Y}$ . Позначимо через  $I_{X \leftrightarrow Y} = I_{X \rightarrow Y} = I_{Y \rightarrow X}$ . Інформацію  $I_{X \leftrightarrow Y}$  називають **повною взаємною інформацією**, що міститься в системах  $X$  та  $Y$ .

Якщо системи незалежні, то  $H(X/Y) = H(X)$  і  $I_{X \leftrightarrow Y} = 0$ , тобто повна взаємна інформація, що міститься в незалежних системах, дорівнює нулю. Це природно, оскільки неможливо дістати відомості про систему, спостерігаючи замість неї іншу, з нею не пов'язану.

Розглянемо випадок, коли стан системи  $X$  цілком визначає стан системи  $Y$ . Тоді  $H(X/Y) = 0$  і, навпаки,  $H(Y/X) = 0$ , тобто системи еквівалентні:

$$H(X/Y) = H(Y/X) = 0 \Rightarrow I_{X \leftrightarrow Y} = I_X = I_Y = H(X) = H(Y). \quad (4.11)$$

Якщо між системами  $X$  та  $Y$  існує зв'язок, причому  $X$  — більш різноманітна, ніж  $Y$ , причому  $H(X/Y) = 0$ , тоді

$$I_{X \leftrightarrow Y} = H(Y) - H(Y/X) = H(Y),$$

тобто повна взаємна інформація  $I_{X \leftrightarrow Y}$ , що міститься в системах, одна з яких є підлеглою, дорівнює ентропії підлеглої системи.

Виведемо формулу для інформації. З огляду на те, що

$$H(Y/X) = H(X/Y) - H(Y),$$

дістанемо:

$$I_{X \leftrightarrow Y} = H(X) - H(X/Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y). \quad (4.12)$$

Отже, повна взаємна інформація, що міститься у двох системах, дорівнює сумі ентропій обох систем, що становлять систему, за винятком ентропії системи, утвореної перерізом даних систем.

Графічно це можна зобразити так, як показано на рис. 4.1.

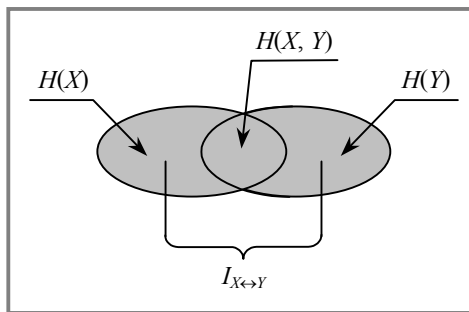


Рис. 4.1. До визначення повної взаємної інформації

$$\begin{aligned}
 H(Y) &= M(-\log P(Y)); \\
 H(X) &= M(-\log P(X)); \\
 H(X, Y) &= M(-\log P(X, Y)).
 \end{aligned}$$

Звідси, можемо записати:

$$I_{X \leftrightarrow Y} = M[-\log P(X) - \log P(Y) + \log P(X, Y)] = M \left[ \log \frac{P(X, Y)}{P(X)P(Y)} \right];$$

$$I_{X \leftrightarrow Y} = M \left[ \log \frac{P(X, Y)}{P(X)P(Y)} \right] \Rightarrow I_{X \leftrightarrow Y} = \sum_i \sum_j P_{ij} \log \frac{P_{ij}}{p_i r_j},$$

де  $P_{ij} = P(X = x_i; Y = y_j)$ ,  $p_i = P(X = x_i)$   $r_j = P(Y = y_j)$ .

### 4.3. Принцип необхідної різноманітності Ешбі

Розглянемо три системи  $X$ ,  $R$ ,  $Y$ . Вони деяким способом пов'язані між собою (рис. 4.2). Нехай різноманітність цих систем буде відповідно

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}, R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}.$$

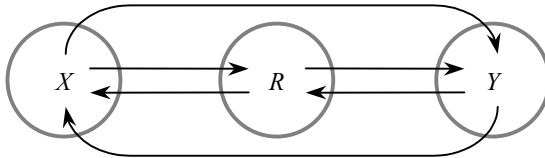


Рис. 4.2. Уявлення принципу Ешбі

Ця різноманітність є невизначеністю щодо стану, в якому перебуває система. Таку невизначеність можна схарактеризувати ентропією:  $H(X)$ ,  $H(R)$ ,  $H(Y)$ . Введемо також умовні ентропії  $H(X/R)$ ,  $H(Y/R)$ .

Розглянемо тепер дві системи  $X$  і  $Y$ . Припустимо, що різноманітність системи  $Y$  менша за різноманітність  $X$ , тобто система  $Y$  є гомоморфним образом  $X$ . Постає запитання: як можна зменшити різноманітність системи  $X$ , або як можна зменшити її невизначеність, тобто ентропію  $H(X)$ ?

Нехай система  $R$  цілком визначена. Тоді, оскільки невизначеність системи  $X$  більша, ніж системи  $Y$ , маємо нерівність

$$H(X/R) \geq H(Y/R). \quad (4.13)$$

За будь-яких причинних чи інших взаємозв'язків між  $R$  і  $Y$  дістаємо:

$$H(YR) = H(Y) + H(R/Y) = H(R) + H(Y/R). \quad (4.14)$$

Згідно з (3.13), можемо записати

$$H(Y) + H(R/Y) \leq H(R) + H(X/R) = H(XR). \quad (4.15)$$

Але для будь-яких систем

$$H(XR) \leq H(X) + H(R). \quad (4.16)$$

Тому, підставляючи (3.16) у (3.15), дістаємо:

$$\begin{aligned} H(X) + H(R) &\geq H(Y) + H(R/Y) \Rightarrow \\ \Rightarrow H(X) &\geq H(Y) + H(R/Y) - H(R). \end{aligned} \quad (4.17)$$

Зі співвідношення (4.17) випливає, що ентропія системи  $X$  має мінімум, і цей мінімум досягається при  $H(R/Y) = 0$ , тобто в разі, коли стан системи  $R$  цілком визначений і відомий стан системи  $Y$ . А це буде тоді, коли  $R$  є однозначною функцією від  $Y$  (її гомоморфний образ).

Отже, якщо  $H(R/Y) = 0$ , то

$$\min H(X) = H(Y) - H(R). \quad (4.18)$$

Це і є відомий «*принцип необхідної різноманітності*» Р. Ешбі, який постулює таке:

*Мінімальне значення різноманітності системи  $X$  можна зменшити тільки за рахунок збільшення різноманітності системи  $R$ .*

*Інакше його можна сформулювати так: тільки різноманітність у системі  $R$  може зменшити різноманітність, яка існує в  $X$ , тільки різноманітність може знищити різноманітність.*

#### **4.4. Альтернативні підходи до визначення кількості інформації**

Статистична теорія інформації пов'язує поняття інформації зі зниженням невизначеності (ентропії) стану об'єкта. Підходи й

математичний апарат для кількісного визначення інформації та ентропії, що їх розробили К. Шенон та Н. Вінер, виявилися корисними в технічних застосуваннях (теорії зв'язку) — оптимізації кодування, передавання, зберігання інформації тощо.

Їхні праці з теорії інформації сприяли розумінню того, що не існує абсолютної інформації про об'єкт, визначення інформації залежить від вибраної моделі об'єкта. Оскільки залежно від мети дослідження вибирають різні моделі з різним описом станів об'єкта, то й з'ясування інформації про об'єкт залежить від мети та завдань дослідника. Адже в одних і тих самих даних міститься різна кількість інформації для різних завдань управління.

Однак статистична теорія інформації не набула поширення для задач обробки інформації, призначеної для управління економічними об'єктами. Це пояснюється тим, що її підходи не враховують специфіки економічної інформації (зокрема, відкидаються змістовні взаємозв'язки, ігнорується зміст та корисність інформації для досягнення мети — цінність, доцільність).

Наприклад, кількість інформації на символ є лише усередненою мірою невизначеності появи цього символу. Тому загальна кількість інформації, що міститься в деякому повідомленні ( $I = -\sum p_i \log p_i$ ), ніяк не пов'язується зі змістовністю і корисністю цієї інформації для одержувача.

Інформативність повідомлень для одержувача залежить від його сфери інтересів, роду занять, мети дослідження тощо. Отже, необхідно враховувати різні аспекти оцінки кількості інформації: не лише за формально-структурними ознаками, а й за змістом та практичною цінністю для одержувача.

Однією з найбільш важливих властивостей інформації є її корисність. Але бути корисним може тільки те, що має сенс для даної системи. Реальні (зокрема, економічні) системи перебувають у процесі постійного перетворення, причому будь-яке елементарне перетворення в системі є подією. Кожна подія супроводжується повідомленням, яке є інформаційним еквівалентом події. З огляду на сказане інформація — це повідомлення, яке має сенс для даної системи. Але значення будуть мати тільки ті повідомлення, які обмежують різноманітність поведінки досліджуваної системи в напрямку її пристосування до середовища.

Наведемо деякі інші міркування та підходи до визначення кількості інформації.

**Семантичний підхід.** Один із методів обчислення кількості семантичної інформації полягає в тому, щоб визначити її через так звану логічну ймовірність, що являє собою ступінь підтвердження тієї чи іншої гіпотези. При цьому кількість семантичної інформації, що міститься в повідомленні, зростає зі зменшенням ступеня підтвердження гіпотези. Отже, якщо логічна ймовірність дорівнює одиниці, тобто якщо вся гіпотеза побудована на відомих даних та цілком підтверджується повідомленням, то таке повідомлення не приносить адресатові нічого нового і семантична інформація дорівнює нулю. (Наприклад, повідомлення «Волга впадає в Каспійське море».) І навпаки, зі зменшенням ступеня підтвердження гіпотези (чи, інакше кажучи, апріорного знання) кількість семантичної інформації, що її доставляє повідомлення, зростає.

З описаним підходом до визначення інформаційної змістовності повідомлень стикається запропонована Ю. Шрейдером ідея, що ґрунтується на врахуванні «запису знань» (тезауруса) одержувача.

**Тезаурусом** (грец. «скарб») називають словник, в якому наведено не тільки значення окремих слів, а й змістовні зв'язки між ними (наприклад, тлумачний словник Даля). У розглядуваному контексті під тезаурусом розуміють деякий узагальнений довідник, що визначає рівень знань одержувача про повідомлення. При цьому повідомлення, що містять нову для одержувача інформацію, змінюють, збагачують його тезаурус.

Якщо повідомлення не вносить нічого нового в тезаурус одержувача, то природно вважати, що змістовна семантична інформація дорівнює нулю. Якщо одне з двох повідомлень змінює тезаурус незначно, а друге вносить до нього істотні зміни, то природно вважати, що друге повідомлення є змістовнішим, несе в собі значно більший обсяг семантичної інформації. При цьому під зміною тезауруса слід розуміти не тільки появу нових понять, а й встановлення нових зв'язків між ними, ліквідацію застарілих понять чи зв'язків тощо.

**Прагматичний підхід.** Визначаючи інформацію, ми зазначали, що однією з властивостей інформації є використання її у процесах управління. А коли інформація використовується для управління, то її, природно, належить оцінювати з позицій корисності, цінності, доцільності для досягнення поставленої мети управління.

Тому кожне одержуване ланками управління повідомлення важливо оцінювати не з погляду пізнавальних характеристик, а з

прагматичного, тобто з боку корисності чи цінності для виконання функцій управління.

Виходячи з таких міркувань, А. Харкевич запропонував міру цінності інформації  $I_{ц}$  визначати як зміну ймовірності досягнення мети в разі отримання цієї інформації:

$$I_{ц} = \log p_1 - \log p_0 = \log \frac{p_1}{p_0},$$

де  $p_0$  — початкова (до отримання відомостей) ймовірність досягнення мети;

$p_1$  — ймовірність досягнення мети після отримання інформації.

При цьому можливі три різні випадки:

1. Отримана інформація не змінює ймовірності, тобто  $p_1 > p_0 \Rightarrow I_{ц} = 0$ . Таку інформацію називають **порожньою**.

2. Якщо ймовірність досягнення мети збільшується:  $p_1 > p_0 \Rightarrow I_{ц} > 0$ , то прагматична інформація зростає.

3. Якщо ймовірність зменшилася:  $p_1 < p_0 \Rightarrow I_{ц} < 0$ , це означає, що отримана інформація є негативною, тобто **дезінформацією**.

Зауважимо, що прагматичні та семантичні оцінки важко розмежувати, а в деяких випадках вони збігаються.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Дайте визначення терміна «ентропія».
2. Доведіть, що максимальна ентропія досягається при рівноймовірних результатах випробувань.
3. Як пов'язані між собою ентропія та інформація з погляду статистичної теорії інформації?
4. Що означає «умовна ентропія»? Сформулюйте її властивості.
5. Сформулюйте принцип необхідної різноманітності Ешбі.
6. Охарактеризуйте підходи до визначення кількості інформації.

## **ТЕМА 5. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ (ІСТ)**

### **5.1. Загальна характеристика сучасних напрямків розвитку ІСТ**



Одним із найважливіших практичних наслідків розвитку кібернетики можна вважати те, що вона стала теоретичним фундаментом для створення комп'ютерної техніки та сучасних ІСТ, які принципово змінили підходи до процесу обробки інформації та управління практично в усіх галузях людської діяльності. ІСТ настільки інтегровані у процеси обробки інформації та управління в економіці, що стали невід'ємною складовою економічної кібернетики, значно збагативши її арсенал.

У загальному випадку **інформаційна технологія** — це сукупність методів і способів нагромадження, оброблення, зберігання, передавання, подання та використання інформації.

Сучасний стан розвитку ІСТ характеризується стійкою тенденцією до зростання обсягів та інтенсивності інформаційних потоків майже в усіх галузях знань. При цьому зростання має приблизно експоненціальний характер. Діяльність будь-якої економічної системи, зокрема й підприємства (комерційного, виробничого, наукового і т. ін.) супроводжується нагромадженням, зберіганням та обробленням величезних масивів інформації. Тому без засобів продуктивної переробки потоків «сирих», первинних даних ефективно управління економічними системами практично неможливе.

Можна виокремити такі сучасні вимоги до даних і їх обробки:

- дані мають бути значного обсягу;
- характеризуватися різноманітністю (кількісною, якісною, текстовою);
- результати обробки мають бути конкретними й зрозумілими;
- інструменти для обробки первинних даних — простими в користуванні.

Усе це зумовило необхідність автоматизації аналізу даних комп'ютерною їх обробкою із застосуванням методів прикладної статистики та економетрії.

Нині існують численні інформаційні технології, спрямовані на полегшення економічної діяльності людини. Наявні системи поділяються на певні типи, передусім за безпосереднім призначенням та підходами, що використовуються в них. У галузі ІСТ умовно можна виокремити три напрямки розвитку, які доповнюють один одного, визначаючи тип ІС. Системи першого типу зорієнтовано на операційну обробку даних — *системи обробки даних (СОД)*. До них належать спеціалізовані пакети програм для статистичного аналізу, математичні пакети тощо. Другий тип ІС зорієнтований на задачі аналізу даних та

управління — системи підтримки та прийняття рішень (СППР).

До третього, одного з найпоширеніших типів ІС, застосовуваних в управлінні, належать такі:

- ◆ АСУ — автоматизовані системи управління;
- ◆ СППР — системи підтримки прийняття рішення;
- ◆ ЕС — експертні системи.

**Автоматизовані системи управління.** АСУ мають широкий спектр застосування: від автоматизації базових функцій підприємства до автоматизації прийняття управлінських рішень. Розвиток цих систем відбувався від найпростіших систем обробки інформації до сучасних інтегрованих інформаційних комплексів. АСУ можна поділити на вузькоспеціальні та інтегровані.

Перші підтримують деякі спеціалізовані напрямки діяльності (наприклад, бухгалтерія, фінанси, кадри, маркетинг) та частково інших базових функціональних галузей. Інтегровані системи забезпечують повну підтримку більшості функціональних сфер діяльності підприємства, пропонуючи широкий перелік спеціалізованих рішень як для різноманітних видів діяльності, так і для всіляких аспектів управління (стратегічне планування, управління спеціальними видами активів і т. ін.).

**Системи підтримки прийняття рішень.** СППР призначені допомагати робити обґрунтований вибір із певного переліку альтернатив. Перш ніж набула поширення клієнт-серверна архітектура, застосовували два типи СППР: ІС для керівництва (управлінські) — Executive Information System (EIS), та системи підтримки рішень — Decision Support System (DSS). EIS створювались на великих ЕОМ і призначалися для керівництва верхнього рівня. DSS виконувались на робочих станціях і призначалися для менеджерів середньої ланки. Але останнім часом завдяки делегуванню повноважень із прийняття рішень середній та нижній ланці відмінності між цими типами СППР поступово зникають. У загальному випадку СППР складаються із СУБД, системи управління банком моделей та інтерфейсу користувача.

**Експертні системи.** ЕС — це ІС, що моделюють дії людини-експерта під час розв'язання задач у певній предметній галузі на основі логічного аналізу накопичених знань, що зберігаються в базі знань (БЗ) Мета досліджень з ЕС полягає передусім у розробці програм, які у процесі розв'язання задач, що виникають у слабо структурованій і важко формалізованій предметній галузі та є

складними для експерта-людини, дають результати, не гірші за якість та ефективністю рішенням, ніж експерти.

Експертні системи та системи штучного інтелекту відрізняються від систем обробки даних тим, що в них використовується символний (а не числовий) спосіб подання інформації, символний вивід та евристичний пошук розв'язку (а не виконання відомого алгоритму). Технологія ЕС нині використовується для розв'язання різних типів задач (інтерпретація, прогноз, діагностика, планування, конструювання, контроль, інструктування, управління) у найрізноманітніших проблемних галузях, таких як фінанси, нафтова та газова промисловість, гірнична справа, хімія, освіта, телекомунікації та зв'язок тощо. Нині спостерігається тенденція до дедалі більшої інтеграції ЕС та СППР, тому поступово ці типи ІС зближуються.

## 5.2. Технології побудови ІС

Сучасні концепції створення ІС ґрунтуються на таких підходах.

**Об'єктно-орієнтований підхід** дає змогу подати задачу розробки ІС як задачу побудови ієрархії об'єктів, що взаємодіють. При цьому об'єкти кожного рівня розглядаються як представники певних класів, що характеризуються наборами властивостей і методів. Функціонування ІС в об'єктно-орієнтованій методології описується за допомогою низки спеціалізованих діаграм. Однією з переваг такого підходу є наочність його засобів (графічних) та можливість їх практичного застосування за допомогою уніфікованої мови моделювання UML.

**UML** (Unified modeling language) — уніфікована графічна мова моделювання призначена для візуалізації, специфікації, конструювання та документування систем, в яких провідну роль відіграє програмне забезпечення. За допомогою UML можна розробити докладний план створюваної системи, що відбиває не тільки її концептуальні елементи, такі як системні функції та бізнес-процеси, а й конкретні особливості реалізації, зокрема класи, записані спеціальними мовами програмування, схеми баз даних, а також програмні компоненти багаторазового використання.

**CASE** (Computer Aided System Engeneering) — технологія комп'ютерного проектування ІС, призначена для розробки складних ІС у цілому. Під CASE-технологією розуміють програмні засоби,

що підтримують процеси створення та супроводження ІС (зокрема, аналіз і формулювання вимог), проектування прикладного програмного забезпечення (додатків) і баз даних, генерування коду, тестування, документування, конфігураційне керування, управління проектом та інші процеси.

CASE-технологія містить набір інструментальних засобів, що дають змогу в наочній формі моделювати будь-яку предметну область, аналізувати побудовану модель на всіх етапах розробки й супроводження ІС і створювати прикладні програми згідно з інформаційними потребами користувачів. Більшість наявних CASE-засобів ґрунтуються на методології структурного й об'єктно-орієнтованого аналізу та проектування, що передбачає використання специфікації у вигляді діаграм або текстів для описування зовнішніх вимог, зв'язків між моделями системи, динаміки поводження системи та архітектури програмних засобів.

**SADT** (Structure Analyse and Design Technic) — технологія структурного моделювання, призначена для побудови функціональної моделі об'єкта певної предметної області. Головна мета SADT-технології — описувати складні об'єкти як ієрархічні, багаторівневі модульні системи за допомогою невеликого набору типових елементів. До найістотніших властивостей SADT-технології належать:

- принцип побудови моделі згори вниз;
- реалізація ієрархічного, багаторівневого моделювання;
- можливість одночасно зі структуруванням проблеми розробляти структуру баз даних.

Сучасні концепції побудови СППР спрямовані на розв'язання суперечності між відсутністю корисної інформації, з одного боку, та наявністю величезних обсягів інформації — з другого. До найвідоміших підходів, спрямованих на підвищення ефективності зберігання та використання інформації, можна віднести:

- ◆ Data Warehouse — концепцію побудови сховища даних;
- ◆ Data Mart — вітрини даних;
- ◆ OLAP (On-Line Analytical Processing) — багатовимірний оперативний аналіз даних;
- ◆ Data Mining (DM) — інтелектуальний аналіз даних.

### **5.3. Методи інтелектуального аналізу даних**

Технології аналізу даних, що базуються на застосуванні класичних статистичних підходів, мають низку недоліків. Відповідні методи ґрунтуються на використанні усереднених показників, на підставі яких важко з'ясувати справжній стан справ у досліджуваній сфері (наприклад, середня зарплата по країні не відбиває її розміру у великих містах та в селах). Методи математичної статистики виявилися корисними насамперед для перевірки заздалегідь сформульованих гіпотез та «грубого» розвідницького аналізу, що становить основу оперативної аналітичної обробки даних (OLAP).

Наприклад, дослідження спеціалістів Гарвардського інституту показують, що на основі наявної інформації за допомогою стандартних статистичних методів не можна було передбачити великої депресії кінця 1920-х років.

Окрім того, стандартні статистичні методи відкидають (нехтують) нетипові спостереження — так звані піки та сплески. Проте окремі нетипові значення можуть становити самостійний інтерес для дослідження, характеризуючи деякі виняткові, але важливі явища. Навіть сама ідентифікація цих спостережень, не говорячи про їх подальший аналіз і докладний розгляд, може бути корисною для розуміння сутності досліджуваних об'єктів чи явищ. Як показують сучасні дослідження, саме такі події можуть стати вирішальними щодо майбутнього поведіння та розвитку складних систем.

Ці недоліки статистичних методів спонукали до розвитку нових методів дослідження складних систем, що базуються на нелінійній динаміці, теорії катастроф, фрактальній геометрії тощо (див. розд. 5).

Водночас постала нагальна потреба в такій технології, яка автоматично видобувала б із даних нові нетривіальні знання у формі моделей, залежностей, законів тощо, гарантуючи при цьому їхню статистичну значущість. Новітні підходи, спрямовані на розв'язання цих проблем, дістали назву *технології інтелектуального аналізу даних*.

В основу цих технологій покладено концепцію шаблонів (патернів), що відбивають певні фрагменти багатоаспектних зв'язків у множині даних, характеризуючи закономірності, притаманні підвибіркам даних, які можна компактно подати у зрозумілій людині формі. Шаблони відшуковують методами, що виходять за межі апріорних припущень стосовно структури вибірки та вигляду розподілів значень аналізованих показників. Важлива особливість цієї

технології полягає в нетривіальності відшукуваних шаблонів. Це означає, що вони мають відбивати неочевидні, несподівані регулярності у множині даних, складові так званого прихованого знання. Адже сукупність первинних («сирих») даних може містити й глибинні шари знань.

**Knowledge Discovery in Databases (дослівно: «виявлення знань у базах даних» — KDD)** — аналітичний процес дослідження значних обсягів інформації із залученням засобів автоматизації, що має на меті виявити приховані у множині даних структури, залежності й взаємозв'язки. При цьому передбачається повна чи часткова відсутність апріорних уявлень про характер прихованих структур та залежностей. KDD передбачає, що людина попередньо осмислює задачу й подає неповне (у термінах цільових змінних) її формулювання, перетворює дані до формату придатного для їх автоматизованого аналізу й попередньої обробки, виявляє засобами автоматичного дослідження даних приховані структури й залежності, апробує виявлені моделі на нових даних, не використовуваних для побудови моделей, та інтерпретує виявлені моделі й результати.

Отже, KDD — це синтетична технологія, що поєднує в собі останні досягнення штучного інтелекту, чисельних математичних методів, статистики й евристичних підходів. Методи KDD особливо стрімко розвиваються протягом останніх 20 років, а раніше задачі комп'ютерного аналізу баз даних виконувалися переважно за допомогою різного роду стандартних статистичних методів.

**Data Mining (дослівно: «Розробка, добування даних» — DM)** — дослідження «сирих» даних і виявлення в них за допомогою «машини» (алгоритмів, засобів штучного інтелекту) прихованих нетривіальних структур і залежностей, які раніше не були відомі й мають практичну цінність та придатні для того, щоб їх інтерпретувала людина.

Розглянемо відмінності між засобами Data Mining і OLAP. Технологія OLAP спрямована на підтримання процесу прийняття управлінських рішень і використовується з метою пошуку відповіді на запитання: чому деякі речі є такими, якими вони є насправді? При цьому користувач сам формує модель-гіпотезу про дані чи відношення між даними, а далі, застосовуючи серію запитів до бази даних, підтверджує чи відхиляє висунуті гіпотези. Засоби Data Mining відрізняються від засобів OLAP тим, що замість перевірки передбачуваних користувачем взаємозалежностей вони на основі наявних даних самі можуть будувати моделі, які дають змогу кіль-

кісно та якісно оцінювати ступінь впливу різних досліджуваних факторів на задану властивість об'єкта. Крім того, засоби DM дають змогу формулювати нові гіпотези про характер досі невідомих, але таких, що реально існують, залежностей між даними.

Засоби OLAP застосовуються на ранніх стадіях процесу KDD, оскільки вони дають змогу краще зрозуміти дані, що, у свою чергу, забезпечує ефективніший результат процесу KDD.

*Головна мета технології KDD — побудова моделей і відношень, прихованих у базі даних, тобто таких, які не можна знайти звичайними методами.* Варто зазначити, що на комп'ютери перекладаються не лише рутинні операції (скажімо, перевірка статистичної значущості гіпотез), а й операції, що донедавна були аж ніяк не рутинними (вироблення нових гіпотез). *KDD дає змогу побачити такі відношення між даними, що залишалися поза увагою дослідників.*

Будуючи моделі, ми встановлюємо кількісні зв'язки між характеристиками досліджуваного явища. Щодо призначення можна виокремити моделі двох типів: прогностні та описові (дескриптивні). Моделі першого типу використовують набори даних із відомими результатами для побудови моделей, що явно прогнозують результати для інших наборів даних, а моделі другого типу описують залежності в наявних даних. Обидва типи моделей використовуються для прийняття управлінських рішень.

*Технологія KDD дає змогу не лише підтверджувати (відкидати) емпіричні висновки, а й будувати нові, невідомі раніше моделі.* Знайдена модель не зможе здебільшого претендувати на абсолютне знання, але вона надає аналітикові деякі переваги вже завдяки самому факту виявлення альтернативної статистично значущої моделі, а також, можливо, стає приводом для пошуку відповіді на запитання: чи справді існує виявлений взаємозв'язок і чи є він причинним? А це, у свою чергу, стимулює поглиблені дослідження, сприяючи глибшому розумінню досліджуваного явища.

*Отже, найважливіша мета застосування технології KDD до дослідження реальних систем — це поліпшення розуміння суті їх функціонування.*

Відзначимо, що процес виявлення знань не є цілком автоматизованим — він вимагає участі користувача (експерта, особи що приймає рішення). Користувач має чітко усвідомлювати, що він шукає, ґрунтуючись на власних гіпотезах. Зрештою замість того, щоб підтверджувати наявну гіпотезу, процес

пошуку часто сприяє появі ряду нових гіпотез. Усе це позначається терміном «discovery-driven data mining» (DDDM), і терміни Data Mining, Knowledge Discovery у загальному випадку стосуються до технології DDDM.

#### **5.4. Основні етапи та алгоритми інтелектуального аналізу даних**

Виокремимо два типи задач, розв'язуваних із різною ефективністю різними методами KDD (хоча, втім, реальні задачі дослідження даних можуть охоплювати обидва типи).

*Задачі першого типу* полягають у побудові на підставі наявних даних різних моделей, якими можна скористатися з метою прогнозування та ухвалення рішення в майбутньому, за схожої ситуації.

*Задачі другого типу* характерні тим, що наголос у них робиться на з'ясуванні сутності залежностей у множині даних, а також взаємовпливу, тобто на побудові емпіричних моделей різних систем, які легко може сприймати людина. При цьому не так уже й важливо, щоб система добре передбачала і працювала в майбутньому, а важливо зрозуміти взаємні впливи досліджуваних закономірностей (що і чим визначається в наявному масиві даних). І навіть якщо встановлені закономірності належатимуть до специфічних особливостей саме конкретних досліджуваних даних і більше ніде не траплятимуться, але нам усе одно потрібно їх з'ясувати.

Розглянемо головні етапи (кроки), характерні для будь-якого дослідження даних за допомогою методів KDD і становлять основний цикл пошуку нового знання та його оцінювання (рис. 5.1). Залежно від задачі кількість етапів, а також обсяг виконуваних на кожному з них дій можуть змінюватися, але загалом усі вони необхідні і так чи інакше мають належати процесу інтелектуального аналізу даних.



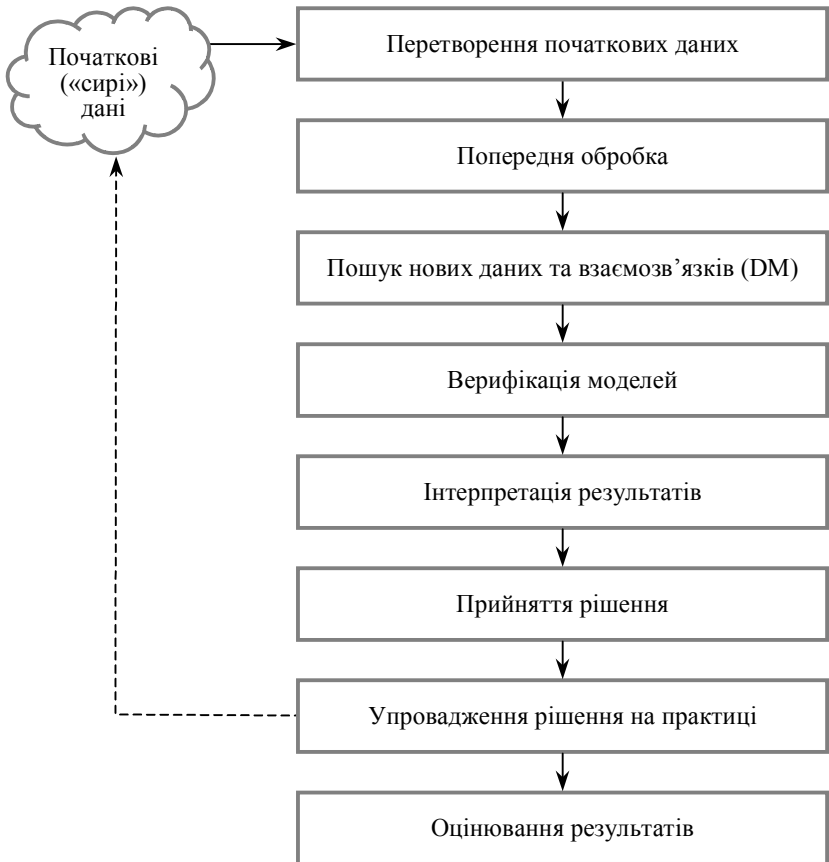


Рис. 5.1. Схема інтелектуального аналізу даних і оцінювання виявленого нового знання

*Перший етап* полягає у зведенні даних до форми, придатної для застосування конкретних реалізацій систем KDD. Нехай, скажімо, інформацію подано у вигляді текстів і потрібно побудувати автоматичний рубрикатор, класифікатор якихось анотацій, описів тощо. Вхідна інформація являє собою тексти в електронному вигляді, але практично жодна з наявних систем KDD не здатна працювати безпосередньо з текстами. Щоб працювати з певним текстом, ми маємо з вихідної текстової інформації заздалегідь дістати деякі похідні параметри (наприклад, частоту появи ключових слів, середню довжину речень, параметри, що характеризують сполучуваність тих чи інших слів у реченні

тощо), тобто побудувати чіткий набір кількісних або якісних параметрів даного тексту. Ця задача найменш автоматизована в тому сенсі, що систему шуканих параметрів формує людина, хоча значення параметрів можуть обчислюватися автоматично в рамках відповідної технології первинної обробки даних. Вибравши параметри, дані можна подати у вигляді прямокутної таблиці, де кожний рядок характеризує окрему ознаку (стан, властивість) досліджуваного об'єкта, а кожний стовпець — ознаки (стани, властивості) всіх досліджуваних об'єктів. Рядки такої таблиці в теорії KDD, як і в теорії баз даних, називають *записами*, а стовпці — *полями*.

Практично всі наявні системи KDD працюють тільки зі щойно описаними прямокутними таблицями.

Здобута прямокутна таблиця — це лише «сировинний» матеріал для застосування методів KDD, і дані, що входять до неї, необхідно передусім обробити. По-перше, таблиця може містити параметри (ознаки об'єктів), що мають однакові значення в якомусь зі стовпців. Коли б досліджувані об'єкти мали тільки такі ознаки, усі вони були б абсолютно ідентичними. Звідси випливає, що відповідні ознаки жодним чином не характеризували б досліджуваних об'єктів, а отже, їх потрібно вилучити з аналізу. Можлива й така ситуація, що деяка категоріальна ознака в усіх її записах має різні значення, через що відповідне поле не придатне для аналізу даних і його також доведеться вилучити. Нарешті може статися так, що полів буде дуже багато, і якщо ми всі їх намагатимемося досліджувати, то надто відчутно збільшиться час розрахунків, оскільки практично для всіх методів KDD характерна сильна (не менш ніж квадратична, а нерідко й експоненціальна) залежність часу розрахунків від кількості параметрів, тоді як залежність часу розрахунків від кількості записів лінійна або близька до неї.

Тому у процесі попередньої обробки даних необхідно, по-перше, розглянути множину всіх ознак, що стосуються шуканої залежності, вилучити з неї ті, які явно не придатні для подальшого дослідження, та виокремити ті, що найімовірніше ввійдуть у шукану залежність. Для цього, як правило, застосовують статистичні методи, що ґрунтуються на застосуванні кореляційного аналізу, лінійних регресій, тобто методи, що дають змогу швидко, хоча й наближено оцінити вплив одного параметра на інші.

*Третій етап* — безпосереднє застосування методів KDD за різними сценаріями, що містять складні комбінації тих методів, які

допомагають аналізувати дані з різних поглядів. Власне, цей етап дослідження і називають Data Mining (добування даних).

*Четвертий етап* — верифікація та перевірка результатів, найчастіше здійснювані в такий спосіб. Усі наявні дані, що мають бути проаналізовані, розбивають на дві (як правило, не однакові за розміром) групи. У більшій групі даних за допомогою тих чи інших методів KDD дістають моделі й залежності, а в меншій виконують їх перевірку. Далі за різницею в точності між результатами, здобутими для обох груп, доходять висновку щодо адекватності й статистичної значущості побудованої моделі. Існує багато інших, складніших способів верифікації (перехресна перевірка, бутстреп-аналіз тощо), які дають змогу оцінити значущість побудованих моделей без розбиття даних на дві групи.

Нарешті, *на п'ятому етапі* знання, що їх здобула людина, автоматично інтерпретуються з метою їх використання для прийняття рішень та внесення сформульованих правил і залежностей до баз знань тощо. Цей етап часто передбачає застосування методів, що є проміжними між технологією KDD і технологією експертних систем. Від того, наскільки ефективним він буде, значною мірою залежить успіх розв'язання поставленої задачі.

Цим етапом і закінчується цикл KDD. Остаточне оцінювання вагомості здобутого нового знання виходить за рамки аналізу, автоматизованого чи традиційного, і стає можливим тільки після впровадження на практиці рішення, прийнятого на основі такого знання. Дослідженням практичних результатів, досягнутих за допомогою здобутого засобами KDD нового знання, завершується його оцінювання (див. рис. 5.1).

## **5.5. Огляд алгоритмів та IC Data Mining**

*Data Mining* — це сукупність багатьох різних методів здобування знань. Вибір методу часто залежить від типу наявних даних і від того, яку інформацію потрібно дістати.

До найпоширеніших методів можна віднести такі:

- *об'єднання* (association; іноді вживають термін affinity, що означає подібність, структурну близькість) — виокремлення структур, що повторюються в часовій послідовності. Цей метод визначає правила, за якими можна встановити, що один набір елементів корелює з іншим. Користуючись ним, аналізують

ринковий кошик пакетів продуктів, розробляють каталоги, здійснюють перехресний маркетинг тощо;

- *аналіз часових рядів* (sequence-based analysis, або sequential association) дає змогу відшукувати часові закономірності між даними (транзакціями). Наприклад, можна відповісти на запитання: купівля яких товарів передуює купівлі даного виду продукції? Метод застосовується, коли йдеться про аналіз цільових ринків, керування гнучкістю цін або циклом роботи із замовником (Customer Lifecycle Management);

- *кластеризація* (clustering) — групування записів, що мають однакові характеристики, наприклад за близькістю значень полів у БД. Використовується для сегментування ринку та замовників. Можуть залучатися статистичні методи або нейромережі. Кластеризація часто розглядається як перший необхідний крок для подальшого аналізу даних;

- *класифікація* (classification) — віднесення запису до одного із заздалегідь визначених класів, наприклад під час оцінювання ризиків, пов'язаних із видачею кредиту;

- *оцінювання* (estimation);
- *нечітка логіка* (fuzzy logic);
- *статистичні методи*, що дають змогу знаходити криву, найближче розміщену до набору точок даних;
- *генетичні алгоритми* (genetic algorithms);
- *фрактальні перетворення* (fractal-based transforms);
- *нейронні мережі* (neural networks) — дані пропускаються через шари вузлів, «навчених» розпізнавати ті чи інші структури — використовуються для аналізу переваг і цільових ринків,

а також для приваблювання замовників.

До DM можна віднести ще візуалізацію даних — побудову графічного образу даних, що допомагає у процесі загального аналізу даних вбачати аномалії, структури, тренди. Частково до DM примикають дерева рішень і паралельні бази даних.

DM тісно пов'язана (інтегрована) зі сховищами даних (Data Warehousing, DW), які, можна сказати, забезпечують роботу Data Mining.

Data Mining — міждисциплінарна технологія, що виникла й розвивається на базі досягнень прикладної статистики, розпізнавання образів, методів штучного інтелекту, теорії баз даних тощо (рис. 5.2). Звідси й численні методи та алгоритми, реалізовані в різних дійових системах Data Mining. Багато з таких систем інтегрують у собі відра-

зу кілька підходів. Проте, як правило, у кожній системі присутній певний ключовий компонент, на який робиться головна ставка.

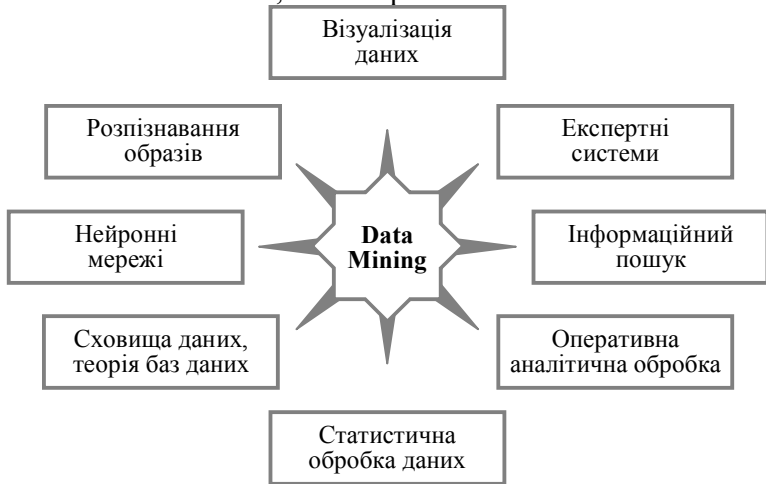


Рис. 5.2. Data Mining — міждисциплінарна галузь

**Предметно-орієнтовані аналітичні системи.** Такі системи дуже різноманітні. Найширший їх підклас, що набув поширення у сфері дослідження фінансових ринків, дістав назву «технічний аналіз». Він містить кілька десятків методів прогнозування динаміки цін і вибору оптимальної структури інвестиційного портфеля, які ґрунтуються на різних емпіричних моделях динаміки ринку. Зазначені методи, застосовуючи здебільшого нескладний статистичний апарат, максимально враховують специфіку своєї предметної галузі (професійна мова, системи різних індексів тощо). На ринку пропонується багато відповідних програм.

**Статистичні пакети.** Новітні версії майже всіх відомих статистичних пакетів поряд із традиційними статистичними методами містять також елементи Data Mining. Проте основна увага приділяється в них класичним підходам — кореляційному, регресійному, факторному аналізу та іншим. Недоліком відповідних систем можна вважати вимоги щодо спеціальної підготовки користувача. Існує, однак, і принциповий недолік статистичних пакетів, що обмежує їх застосування в Data Mining: більшість методів, що входять до складу пакетів, спираються на усереднені характеристики вибірки, які в разі дослідження складних життєвих явищ часто є фіктивними. І все ж деякі

сучасні пакети пропонують модулі для інтелектуального аналізу. Наприклад, STATISTICA містить модуль Data Miner, що дає змогу будувати дерева рішень, нейронні мережі, виявляти IF THEN правила тощо.

До найпотужніших і найчастіше застосовуваних статистичних пакетів належать SAS (компанія SAS Institute), SPSS (SPSS), STATGRAPICS (Manugistics), STATISTICA, STADIA, EVIEWWS тощо.

**Нейронні мережі.** Це великий клас систем, архітектура яких певною мірою аналогічна побудові нервової тканини з нейронів. В одній із найпоширеніших архітектур — багат шаровому перцептроні зі зворотним зв'язком помилки, імітується робота нейронів у складі ієрархічної мережі, де кожний нейрон вищого рівня з'єднаний своїми входами з виходами нейронів нижчого шару. На нейрони найнижчого шару подаються значення вхідних параметрів, на підставі яких потрібно приймати якісь рішення, прогнозувати розвиток ситуації тощо. Ці значення розглядаються як сигнали, що передаються в наступний шар, послаблюючи чи підсилюючи його залежно від числових значень (ваг), приписуваних міжнейронним зв'язкам.

У результаті на виході нейрона найвищого шару виробляється деяке значення, що розглядається як відповідь (реакція) всієї мережі на значення вхідних параметрів. Для того щоб мережу можна було використовувати надалі, її потрібно «навчити» на базі здобутих раніше даних, для яких відомі значення вхідних параметрів і правильні відповіді на них. Тренування полягає в доборі ваг міжнейронних зв'язків, що забезпечують найбільшу близькість відповідей мережі до відомих правильних відповідей.

Основним недоліком нейромережної технології є те, що вона потребує дуже великого обсягу навчальної вибірки. Ще один істотний недолік такий: навіть натренована нейронна мережа — це «чорна скринька». Знання, зафіксовані як ваги кількох сотень міжнейронних зв'язків, людина не в змозі проаналізувати й інтерпретувати.

До нейромережних систем належить, скажімо, BrainMaker (CSS), NeuroShell (Ward Systems Group), OWL (HyperLogic).

**Системи міркувань на основі аналогічних випадків.** Для того щоб зробити деякий прогноз або вибрати правильне рішення, зазначені системи (case based reasoning — CBR) відшуковують у минулому близькі аналоги наявної ситуації, вибираючи ті самі відповіді, що були для них правильними. Тому цей метод ще називають методом «найближчого сусіда»

(nearest neighbour). Останнім часом набув поширення також термін «memory based reasoning», який акцентує увагу на тому, що рішення приймається на підставі всієї інформації, нагромадженої в пам'яті.

Системи CBR забезпечують добрі результати в найрізноманітніших задачах. Головний їхній недолік полягає в тому, що вони взагалі не створюють будь-яких моделей чи правил, які узагальнюють попередній досвід, а ґрунтуються у виборі рішення на всьому масиві доступних історичних даних. Саме через це не можна встановити, на яких конкретно засадах системи CBR будують свої відповіді.

Інший недолік — певне «свавілля», що його припускаються такі системи, вибираючи міру «близькості», від якої залежить обсяг множини прецедентів, збережуваних у пам'яті з метою досягнення задовільної класифікації або прогнозу.

З-поміж систем CBR назвемо, наприклад, KATE tools (Ackno-soft, Франція), Pattern Recognition Workbench (Unica, США).

**Дерева рішень (decision trees).** Дерева рішень є одним із найпопулярніших підходів до розв'язання задач Data Mining. Вони створюють ієрархічну структуру правил, класифікованих за схемою «ЯКЩО... ТО...» (if-then), яка має вигляд дерева. Для ухвалення рішення про те, до якого класу варто віднести деякий об'єкт (ситуацію, потрібно відповісти на запитання, що містяться у

вузлах цього дерева, починаючи з його кореня. Запитання можуть бути, наприклад, такі: «Значення параметра  $a$  більше за  $x$ ?». Якщо відповідь ствердна, відбувається перехід до правого вузла наступного рівня, якщо заперечна — до лівого вузла. Далі знову ставиться запитання, пов'язане з відповідним вузлом.

Популярність цього підходу зумовлюється наочністю та зрозумілістю. Але дерева рішень принципово не здатні знаходити «кращі» (найбільш повні і точні) правила в даних. Вони реалізують принцип послідовного перегляду ознак і збирають фактично уламки наявних закономірностей, створюючи лише ілюзію логічного висновку.

Проте більшість систем діють саме за цим методом. До таких належать, наприклад, See5/35.0 (RuleQuest, Австралія), Clementine (Integral Solutions, Великобританія), SIPINA (University of Lyon, Франція), IDIS (Information Discovery, США), KnowledgeSeeker (ANGOSS, Канада).

**Еволюційне програмування.** Сучасний його стан схарактеризуємо, розглянувши систему PolyAnalyst, в якій

гіпотези про вигляд залежності цільової змінної від інших змінних формулюються у вигляді програм, що подаються деякою внутрішньою мовою програмування. Процес побудови програм розгортається еволюційно в комплексі програм (на кшталт генетичних алгоритмів). Коли система відшукує програму, що більш-менш задовільно виражає шукану залежність, вона починає вносити до неї невеликі модифікації і добирає серед побудованих дочірніх програм ті, які підвищують точність. У такий спосіб система «вирощує» кілька генетичних ліній програм, що конкурують між собою стосовно точності вираження шуканої залежності. Спеціальний модуль системи PolyAnalyst перекладає знайдені залежності з внутрішньої мови системи зрозумілою користувачеві мовою (математичні формули, таблиці тощо).

Інший напрямок еволюційного програмування пов'язаний із пошуком залежності цільових змінних від решти у формі функцій певного вигляду. Наприклад, один із найбільш вдалих алгоритмів цього типу — метод групового врахування аргументів (МГВА) передбачає відшукування залежності у формі поліномів.

**Генетичні алгоритми.** Data Mining не є головною сферою застосування генетичних алгоритмів. Їх варто розглядати радше як могутній засіб розв'язання різноманітних комбінаторних задач та задач оптимізації. Проте генетичні алгоритми становлять нині стандартний інструментарій методів Data Mining.

Перший крок під час побудови генетичних алгоритмів — це кодування вихідних логічних закономірностей у базі даних, що їх іменують хромосомами, а весь набір таких закономірностей називають популяцією хромосом. Далі для реалізації концепції вибору вводиться спосіб зіставлення різних хромосом. Популяція обробляється за допомогою процедур репродукції, мінливості (мутацій), генетичної композиції. Ці процедури імітують біологічні процеси. Найважливіші з них такі:

- випадкові мутації даних в індивідуальних хромосомах, переходи і рекомбінації генетичного матеріалу, що міститься в індивідуальних батьківських хромосомах, і міграцію генів;
- у процесі виконання процедур на кожній стадії еволюції виходять популяції з дедалі досконалішими індивідами.

Генетичні алгоритми зручні тим, що їх легко розпаралелити. Наприклад, можна розбити покоління на кілька груп і працювати з кожною з них незалежно, змінюючи час від часу кілька хромосом. Існують також інші методи розпаралелювання генетичних алгоритмів.



Генетичні алгоритми мають і низку недоліків. Критерій добору хромосом і використовуваних процедур є евристичним і зовсім не гарантує відшукування «найкращого» рішення. Як і в реальному житті, еволюцію може «заклинити» на якій-небудь непродуктивній галузці. І, навпаки, може статися, що безперспективні батьки, яких вилучить з еволюції генетичний алгоритм, будуть здатні породити високоефективного нащадка. Це особливо стає помітним під час розв'язування багатомірних задач зі складними внутрішніми зв'язками.

Як приклад можна згадати систему GeneHunter фірми Ward Systems Group.

**Алгоритми обмеженого перебору.** Ці алгоритми обчислюють частоти комбінацій простих логічних подій у підгрупах даних. Приклади простих логічних подій:  $x = a$ ;  $x < a$ ;  $x > a$ ;  $a < x < b$  тощо, де  $x$  — деякий параметр,  $a$  та  $b$  — константи. На підставі аналізу обчислених частот робиться висновок про корисність тієї чи іншої комбінації стосовно встановлення асоціацій у даних, класифікації, прогнозування і т. ін.

Найбільш виразним сучасним представником цього підходу є система WizWhy підприємства WizSoft.

**Системи для візуалізації багатомірних даних.** Засоби графічного відображення даних тією чи іншою мірою підтримуються всіма системами Data Mining. Проте дуже значну частку ринку становлять системи, що спеціалізуються винятково на цій функції. Одна з них — програма DataMiner 3D словацької фірми Dimension 5.

У таких системах основна увага сконцентрована на дружньому користувальницькому інтерфейсі, що дає змогу асоціювати з аналізованими показниками різні параметри діаграми розсіювання об'єктів (записів) бази даних. До зазначених параметрів належать колір, форма, орієнтація щодо власної осі, розміри й інші властивості графічних елементів зображення. Крім того, системи візуалізації даних є зручними засобами для масштабування зображень.

### ***Контрольні запитання та завдання***

1. Охарактеризуйте сучасний стан розвитку ICT.
2. У чому полягає сутність технології структурного моделювання (SADT)?

3. Розкрийте основні ідеї об'єктно-орієнтованого підходу до побудови ІС?
4. Дайте визначення технології Data Mining.
5. Чим відрізняється технологія DM від OLAP?
6. Наведіть основні етапи проведення інтелектуального аналізу даних.

### **Список додаткової літератури до розділу 2**

1. *Волькенштейн М. В.* Энтропия и информация. — М.: Наука, 1986. — 192 с.
2. *Глушков В. М.* Введение в АСУ. — К.: Тэхника, 1972. — 312 с.
3. *Кальянов Г. Н.* CASE структурный системный анализ. — М.: Лори, 1996. — 242 с.
4. *Мамиконов А. Г.* Информация и управление. — М.: Наука, 1975. — 184 с.
5. *Марка Д. А., Мак-Гоуэ К.* Методология структурного анализа и проектирования: Пер. с англ. — М.: Наука, 1993. — 240 с.
6. *Одинцов Б. Е.* Проектирование экономических экспертных систем: Учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по специальности «Информационные системы в экономике» — М.: Компьютер, 1996. — 166 с.
7. *Попов Э. В., Фоминых И. Б., Кисель Е. Б., Шапот М. Д.* Статические и динамические экспертные системы: Учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по специальности «Прикладная математика», «Автоматизированные системы обработки информации и управления». — М.: Финансы и статистика, 1996. — 320 с.
8. Проектирование информационных систем с использованием CASE-технологий: Учеб. пособие / Санкт-Петербургский гос. ун-т водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2000. — 172 с.
9. *Фаулер М.* UML в кратком изложении. Применение стандартного языка объектного моделирования. — М.: Мир, 1999.
10. *Черняк Ю. И.* Информация и управление. — М.: Наука, 1977.
11. *Шенон К.* Работы по теории информации и кибернетике. — М.: ИЛ, 1963. — 829 с.
12. Экономическая информатика / Под ред. П. В. Конюховского и Д. Н. Колесникова. — СПб.: Питер, 2000. — 560 с.
13. Экспертные системы: состояние и перспективы: Сб. науч. тр. / АН СССР; Ин-т проблем передачи информации; Под ред. Д. А. Поспелова. — М.: Наука, 1989. — 152 с.
14. *Яглом А. М., Яглом И. М.* Вероятность и информация. — М.: Наука, 1973. — 511 с.