



С. В. Швець,  
У. С. Швець

**ОСНОВИ  
СИСТЕМНОГО  
АНАЛІЗУ**

Навчальний посібник

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

**С. В. Швець, У. С. Швець**

# **ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми  
Сумський державний університет  
2017

УДК 303732.4:517(075.8)

ББК 22.16я73

Ш35

Рецензенти:

*В. П. Ларшин* – доктор технічних наук, професор Одеського національного політехнічного університету;

*О. М. Алексєєв* – доктор педагогічних наук, професор Сумського державного університету

*Рекомендовано до видання  
вченою радою Сумського державного університету  
як навчальний посібник  
(протокол № 5 від 10 листопада 2016 року)*

**Швець С. В.**

Ш35      Основи системного аналізу : навчальний посібник / С. В. Швець,  
У. С. Швець. – Суми : Сумський державний університет, 2017. –  
126 с.

ISBN 978-966-657-655-5

Системний аналіз дозволяє вивчати і проектувати складні об'єкти, керувати ними в умовах неповної інформації, обмеженості ресурсів, дефіциту часу. Системний аналіз об'єднує теорію і практику, здоровий глузд та абстрактну формалізацію. Подолання труднощів, природа яких пов'язана з неповною формалізацією, вимагає системного застосування спеціальних знань і методів. При цьому застосовують свідомі, науково виважені підходи. Те, що може зробити обдарована або з великим практичним досвідом особистість, зможе, керуючись науковим системним підходом до проблеми, виконати звичайна людина.

Навчальний посібник розрахований на студентів та аспірантів вищих навчальних закладів, широке коло читачів.

**УДК 303732.4:517(075.8)**

**ББК 22.16я73**



## ЗМІСТ

	С.
Передмова.....	5
<b>Розділ 1 Моделювання об'єктивної дійсності.....</b>	<b>9</b>
1.1 Цільове спрямування моделювання.....	9
1.2 Матеріальні та абстрактні моделі.....	11
1.3 Пізнавальні і прагматичні моделі.....	13
1.4 Моделі статичні та динамічні.....	15
1.5 Види подібності.....	15
1.6 Відповідність між моделлю та дійсністю.....	17
1.7 Формалізація процесу моделювання.....	18
<i>Контрольні запитання.....</i>	<i>20</i>
<i>Теми рефератів.....</i>	<i>20</i>
<b>Розділ 2 Системи.....</b>	<b>21</b>
2.1 Призначення системи.....	21
2.2 Будова системи.....	25
2.3 Класифікація систем.....	33
2.4 Системність практичної діяльності.....	38
2.5 Моделювання інтелекту.....	41
2.6 Штучний нейрон.....	42
2.7 Штучні нейронні мережі.....	44
2.8 Навчання нейронної мережі.....	46
2.9 Системність пізнавальних процесів.....	49
2.10 Декомпозиція і агрегування.....	51
<i>Контрольні запитання.....</i>	<i>57</i>
<i>Теми рефератів.....</i>	<i>58</i>
<b>Розділ 3 Керування системами.....</b>	<b>59</b>
3.1 Системи і об'єкти.....	59
3.2 Великі та складні системи.....	61
3.3 Інформація і її невизначеність.....	62
3.4 Випадкові процеси.....	63
3.5 Кількість інформації.....	67
3.6 Типи і засоби керування системами.....	70
3.7 Якість системи і ресурси керування.....	72
3.8 Керування виробництвом продукції.....	73
<i>Контрольні запитання.....</i>	<i>75</i>
<i>Теми рефератів.....</i>	<i>76</i>

<b>Розділ 4 Етапи системного аналізу</b> .....	77
4.1 Формулювання проблеми та визначення об'єкта дослідження.....	77
4.2 Виявлення мети.....	79
4.3 Формування критеріїв.....	84
4.4 Генерування альтернатив.....	85
4.5 Задачі вибору.....	88
4.6 Людино-машинні системи та вибір.....	90
4.7 Алгоритми проведення системного аналізу.....	93
<i>Контрольні запитання</i> .....	96
<i>Теми рефератів</i> .....	97
<b>Розділ 5 Синергетика</b> .....	98
5.1 Завдання синергетики.....	98
5.2 Самоорганізація у живій та неживій природі.....	99
5.3 Хвилева теорія будови елементарних частин.....	102
5.4 Основні закономірності синергетики.....	103
<i>Контрольні запитання</i> .....	104
<i>Теми рефератів</i> .....	105
Післямова.....	106
Словник спеціальних термінів.....	109
Додаток А. Тестові завдання для перевірки знань.....	112
Список літератури.....	123

## ПЕРЕДМОВА

У сучасному суспільстві системні уявлення вже досягли такого рівня, що думка про корисність і важливість системного підходу при вирішенні практичних проблем стала звичною. Не лише вчені, а й керівники виробництв, діячі культури відчули потребу у системності власної діяльності і свідомо намагаються здійснювати свою роботу системно. Поширилося розуміння того, що наші успіхи пов'язані з тим, наскільки системно ми підходимо до вирішення проблем, а наші невдачі викликані відхиленням від системності. Будь-яка діяльність є більш або менш системною. Поява проблеми – ознака недостатньої системності. Вирішення проблеми – результат підвищення системності. Необхідність підвищення системності виникає у різноманітних галузях діяльності людини: у математиків, інженерів, юристів, кібернетиків, істориків та ін. Вирішення виниклої проблеми здійснюється шляхом переходу на новий, більш високий рівень системності у нашій діяльності.

Не можна вважати, що системність з'явилася і стала актуальною лише останнім часом. Системні дослідження проводилися в різних історичних періодах. Про це свідчать філософські погляди мислителів стародавньої Греції, таких як Анаксімен, Анаксимандр, Сократ, Платон, Аристотель, Демокрит. Їх вчення можна вважати одними з перших про організацію світу та окремих явищ оточення. Системність властива працям Френсіса Бекона, П'єра Гассенди, Етьєна Бонно де Кондильяка та інших філософів. Мислення завжди системне й іншим бути не може. Проте у середині 60-х років стало очевидним, що усі теоретичні і прикладні дисципліни утворюють немов би єдиний потік – *системний рух*. В. М. Садовський та Е. Г. Юдін [28] відзначають, що системний рух проявляється, коли у публікаціях із певної тематики починають вживатися терміни «система», «структура», «зв'язок», «керування». Системність стала не лише теоретичною категорією, але й усвідомленим аспектом практичної діяльності. Оскільки великі і складні системи є предметом вивчення,

керування і проектування, стало необхідним узагальнення засобів дослідження систем і впливу на них.

Можливо одним із перших, хто запропонував науковий підхід до управління складними системами, був М. А. Ампер [27]. При класифікації наук («Досвід філософських наук, або аналітичне викладення природної класифікації усіх знань людства», 1834) він виділив спеціальну науку про управління державою і назвав її «кібернетикою», від грецького слова, яке спочатку означало мистецтво керування кораблем, а потім самі греки надали йому більш широкого значення – мистецтво керування в цілому.

Приблизно у той самий час поляк Б. Ф. Трентовський читав у Фрейбурзькому університеті курс лекцій, зміст яких у 1843 р. опублікував у книзі «Ставлення філософії до кібернетики, або мистецтво управління народом». На той час суспільство виявилось не готовим сприйняти ідеї кібернетики, практика управління ще могла обходитися без теорії управління.

Більш ніж через півстоліття з'явилися праці О. О. Богданова «Загальна організаційна наука (тектологія)», 1–3-й томи, 1913–1925 рр. «Тектологія» у перекладі з грецької означає «вчення про будівництво». О. Богданов дійшов висновку, що існує єдність організаційних методів, єдність їх усюди – у психічних і фізичних комплексах, у живій і мертвій природі, в роботі стихійних сил і свідомій діяльності людей. Тектологія повинна з'ясувати [10], які способи організації спостерігаються у природі і у людській діяльності; потім – узагальнити і систематизувати ці способи; далі – пояснити їх, тобто дати абстрактні схеми їх тенденцій і закономірностей; нарешті, спираючись на ці схеми, визначити напрями розвитку організаційних методів та роль їх в економіці світового процесу.

Не усі зрозуміли значення, незважаючи на недоліки, праці О. Богданова. Справді, термін «організація» може означати підприємство, процес або об'єкт. Дехто В. І. Невський у 1920 році відмічає [10], що О. Богданов у своїй праці «...нагромаджує десятки нових термінів. Яких тільки назв у нього немає, звідки вони тільки узяті: тут і копуляція, і



кон'югація (терміни, узяті з біології), і інгресія, і егресія, дегресія і дезингресія, і системна диференціація, і яких тільки комбінацій усіх цих символів, комплексів та елементів у нього немає».

У 1934 році з'явилися праці австрійського біолога Л. Берталанфі, який почав формувати теорію систем. Він (як і О. О. Богданов) вбачав структурну схожість законів, встановлених у різних науках і, узагальнюючи їх, одержував загальносистемні закономірності. Найбільша цінність загальної теорії систем полягає у створенні чітких визначень понять, якими вона оперує. Спираючись на ідеї О. О. Богданова, завдяки однозначному та сприйнятливому тлумаченню понять і правил Л. Берталанфі став «батьком» теорії систем.

Масове поширення системного підходу почалося з 1948 р., коли американський математик Н. Вінер опублікував книгу під назвою «Кібернетика». Він аналізує з позицій кібернетики зв'язки між тваринами і в машинах, а також процеси, що відбуваються у суспільстві. Все це сприяло розвитку методології моделювання, ідеї математичного експерименту, комп'ютеризації.

Значний внесок у розвиток теорії систем зробили М. Д. Месарович, Р. Л. Акофф, О. Ланге [1, 18, 20], а також В. Н. Садовський, Е. Г. Юдін, Д. М. Гвішіані [11, 28], Ф. І. Перегудов, Ф. П. Тарасенко [27].

Виникла прикладна наука, що об'єднала абстрактні теорії і живу практику. Вона одержала назву «теорія систем». Хоча теорія систем ще і сьогодні перебуває на стадії розвитку, її вже можна розглядати як самостійну дисципліну, яка має свій об'єкт діяльності, накопичила досить потужний арсенал засобів і має значний практичний досвід. Вона оперує фундаментальними поняттями (система, модель, інформація та ін.), конкретними поняттями (сигнали, вимірювальні шкали, великі і складні системи) і поняттями, специфічними лише для системного аналізу (декомпозиція, агрегування, конфігуратор, проблематика, зацікавлені сторони).

Сучасна *теорія систем* є емпіричним зібранням філософських настанов, корисних порад та рецептів, озброєних арсеналом допоміжних математичних методів і знань із різних предметних наук.

Отже, уявляючи проблему як породження якоїсь системи, можна спробувати вирішити її засобами, які зібрані у теорії систем. При цьому проявляється *системний підхід*, тобто вирішення проблеми із застосуванням методології теорії систем. Системний підхід з'ясовує причини виниклих труднощів та пропонує варіанти їх усунення, тобто передбачає безпосереднє втручання у проблемну ситуацію.

Проте є багато прикладів, коли усунути проблему неможливо через недостатню кількість інформації про саму систему. Маючи на меті ліквідацію проблеми або, як мінімум, з'ясування її причин, системний аналітик використовує широкий спектр методів, можливості різноманітних наук і практичних сфер діяльності. *Системний аналіз* – це процес різнобічного вивчення об'єктів за методологією теорії систем.

Системний аналіз надає великого значення методологічним аспектам будь-якого системного дослідження. Прикладне спрямування системного аналізу приводить до використання усіх сучасних засобів наукових досліджень – математики, обчислювальної техніки, моделювання, спостережень та експериментів.

## МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТИВНОЇ ДІЙНОСТІ

---

### 1.1 Цільове спрямування моделювання

Розвиток людства залежить від пізнання навколишнього світу з метою його розуміння та контролю. Пізнання – це процес активного, цілеспрямованого відображення дійсності у свідомості людини. Основним у вивченні та пізнанні є аналіз моделей, створених за реальним об'єктивним оточенням. Ідея використання моделей впливає із протиріччя (чи невідповідності) між скінченністю людського розуму та нескінченною дійсністю.

Модель є не просто образом, що замінює оригінал, не відображенням взагалі, а відображенням цільовим [24]. Наприклад, різні члени туристської групи складають різні моделі однієї й тієї самої колоди. Якщо комусь доручено обладнати табір, то він розмірковує, як використати цю колоду замість стола або як сидіння. Інший відповідає за багаття, а для дров від колоди вимагаються зовсім інші якості. Третього цікавить вік дерева, і він обстежить зріз колоди. Модель відображає не сам по собі об'єкт-оригінал, а те, що в ньому нас цікавить, те, що відповідає поставленій меті.

З того, що модель є цільовим відображенням, впливає, що може бути безліч моделей одного й того самого об'єкта: для різних цілей, як правило, вимагаються різні моделі.

Будь-яка робота має кінцеву мету. Робітник точить заготовку, перетворюючи її на деталь. Скульптор ріже мармурову брилу, залишаючи в ній лише те, що стане скульптурою. Спортсмен наполегливо тренується, щоб перемогти на змаганнях. Студент навчається, щоб мати професію. Цільовий характер має не лише трудова діяльність. Звичайно, відпочинок, розваги, прогулянки це не праця, але їх цільовий характер очевидний. Тому можна говорити про різноманітні види цільової діяльності людини. Системність

діяльності виявляється у тому, що вона здійснюється за певним планом або за алгоритмом. Можна сказати, що *алгоритм* – це образ майбутньої діяльності, її модель.

І сама мета являє собою модель. Вона є організуючим елементом діяльності – образом бажаного майбутнього. Тому *мета* – це модель стану, на досягнення якого і спрямована діяльність.

Як правило, діяльність рідко здійснюється за жорсткою програмою, без урахування того, що відбувається на проміжних етапах. Частіше потрібно оцінювати результат попередніх дій і вибирати наступний крок із можливих. І тут у пригоді стає моделювання. Можна порівнювати наслідки усіх можливих кроків на моделі, не виконуючи їх реально. Моделі дозволяють робити контрольовані експерименти, коли експериментувати на реальних об'єктах економічно не вигідно або неможливо. Моделі застосовуються як засіб навчання.

Таким чином, моделювання є обов'язковим, неминучим за будь-якої цілеспрямованої діяльності.

Для того, щоб модель відповідала своєму цільовому призначенню, необхідно, щоб вона була узгоджена з тим середовищем, в якому їй передбачено функціонувати. Така узгодженість із середовищем називається *інгерентністю*. Наприклад, незначна розбіжність програми для ЕОМ із машинною мовою повністю її знецінює. З іншого боку, у середовищі мають бути інші моделі, що підтримують її функціонування і використовують результати моделювання. Отже, не лише модель повинна пристосовуватися до середовища, але і середовище – до моделі.

Модель, за допомогою якої успішно досягається поставлена мета, називається *адекватною* цій меті. Адекватність означає, що досягається не абсолютна відповідність між об'єктом і моделлю, а настільки, наскільки це необхідно для досягнення мети. Геоцентрична модель Птолемея була неправильною, але вона адекватна з точки зору точності опису руху планет.

Моделі можуть утворювати ієрархію, в якій модель більш високого рівня (наприклад, теорія) містить моделі нижніх рівнів (скажімо, гіпотези) як свої частини, тобто елементи.

Будь-який об'єкт може бути використаний як модель. Це не означає, що він не може бути і чимось іншим. Наприклад, черевик є моделлю його володаря (за запахом черевика собака відшукає людину, за станом черевика можна визначити деякі риси характеру його господаря). Тобто черевик може бути представлений як модель господаря, у той самий час це є взуття.

## 1.2 Матеріальні та абстрактні моделі

Для побудови моделей існують два типи засобів. Це засоби свідомості і засоби навколишнього матеріального світу. Відповідно до цього моделі поділяються на абстрактні (ідеальні) і матеріальні (реальні, речовинні).

Спочатку поняття «модель» застосовувалося лише до *матеріальних* об'єктів спеціального типу, наприклад, манекен (модель людської фігури), гідродинамічна зменшена модель греблі, моделі кораблів, літаків та ін. Тобто це такий допоміжний засіб або об'єкт (матеріальний), що в певній ситуації замінював інший об'єкт.

Але у результаті розвитку філософських та математичних праць стало зрозумілим, що є можливість будь-які наші знання подати у вигляді моделей. При цьому модель визначається як результат відображення однієї абстрактної структури на іншу, також абстрактну, або як результат інтерпретації однієї моделі в термінах і образах іншої. Отже, модель може бути *абстрактною*.

Абстрактні моделі є ідеальними конструкціями, побудованими засобами мислення, свідомості. До абстрактних моделей належать мовні конструкції. На природній мові ми можемо говорити про все. Вона є універсальним засобом побудови будь-яких абстрактних моделей. Проте мовні моделі неоднозначні, розмиті, розпливчасті. Ця властивість виявляється вже на рівні слів. Багатозначність майже кожного слова або

невизначеність слів (наприклад, «багато», «декілька») разом із безліччю їх можливих сполучень у вирази дозволяє будь-яку ситуацію відобразити різними мовними конструкціями. Ця приблизність – невід’ємна властивість мовних моделей.

Приблизність природної мови обертається на недолік, який можна подолати створенням «професійної» мови людьми, пов’язаними загальною діяльністю. Найбільш яскраво це видно на прикладі мов конкретних наук. Використовують спеціальні терміни та визначення із роз’ясненням їх значень.

Не повинно бути неоднозначності і у стандартах. Наприклад, деякі терміни стандарт ISO 9000 визначає так:

- *аналіз* – діяльність, що вживається для встановлення придатності, адекватності, результативності об’єкта для досягнення встановлених цілей;
- *аудит якості* – систематичний, незалежний, задокументований процес одержання фактів та інформації, об’єктивного їх оцінювання з метою встановлення ступеня виконання погоджених із політикою процедур або вимог;
- *якість* – ступінь, за яким сукупність власних характеристик продукції задовольняє вимоги споживача;
- *особа, відповідальна за процес*, – посадова особа, що відповідає за реалізацію процесу, що виконає планування процесу, його моніторинг і що відповідає за досягнення мети процесу;
- *методика* – встановлений засіб здійснення діяльності;
- *моніторинг* – систематичний процес оцінювання відповідності шляхом спостережень, що супроводжуються відповідними перевітками, розрахунками, вимірами та іспитами;
- *невідповідність* – невиконання встановлених вимог;
- *продукція* – результат діяльності або процесів. Продукція може містити послуги, документацію, обладнання, матеріали, що переробляються, програмне забезпечення або їх комбінацію;
- *ресурси* – все, що необхідно для реалізації процесу. До ресурсів відносять:

а) інфраструктуру «Організації» – сукупність приміщень, обладнання та служб, необхідних для функціонування організації;

б) робоче середовище – сукупність умов, за яких виконують роботу;

в) людські ресурси;

• *система керування якістю* – система для керівництва і управління підприємством щодо якості.

Математичні моделі мають абсолютну точність, але щоб дійти до їх використання у цій області, необхідно отримати достатню для цього кількість знань.

Відомо, що фізичні процеси описуються у термінах операцій (спостережень, експериментів), що зв'язують фізичні об'єкти. Фізичні ситуації можуть бути описані за допомогою символічних моделей (математичних формул), що «абстрагують» належним чином найбільш «істотні» властивості об'єктів та ситуацій [16]. Математична модель – це сукупність абстрактних математичних об'єктів і відношень між ними.

Математична модель лише у тому випадку буде адекватно відтворювати різноманітні сторони фізичної ситуації, якщо можна встановити правила відповідності, що зв'язують фізичні об'єкти і відношення між ними з певними математичними об'єктами і відношеннями. Коли ж не визначені фізичні відношення і об'єкти (немає послідовності елементарних актів процесу), то не може існувати і правил, що ставлять їх у відповідність до математичних об'єктів та відношень. Проте нематематизованість якоїсь науки не означає її ненауковість, а є наслідком складності, недостатнього пізнання її предмета, є тимчасовим явищем.

### 1.3 Пізнавальні і прагматичні моделі

Моделі поділяються на пізнавальні і прагматичні, хоча цей розподіл досить відносний. Деякі конкретні моделі можна вважати як пізнавальними, так і прагматичними. Наочно різниця

між пізнавальними і прагматичними моделями виявляється в їхньому відношенні до оригіналу у процесі діяльності (рис. 1.1).

*Пізнавальні моделі* є формою організації і подання знань, засобом поєднання нових знань із наявними. Тому при виявленні розбіжності між моделлю і реальністю виникає завдання усунення цієї розбіжності за допомогою зміни моделі. Пізнавальна діяльність орієнтована на наближення моделі до реальності, яку модель відображає.

*Прагматичні моделі* є засобом керування, засобом організації практичних дій, засобом подання зразково правильних дій або їх результату. Це робоче подання мети. Тому використання прагматичних моделей полягає у тому, щоб при появі розбіжностей між моделлю і реальністю спрямувати зусилля на зміну реальності так, щоб наблизити реальність до моделі. Прикладами прагматичних моделей можуть бути плани і програми дій, стандарти, статuti організацій, кодекси законів, алгоритми, робочі креслення і шаблони, технологічні допуски, екзаменаційні вимоги.

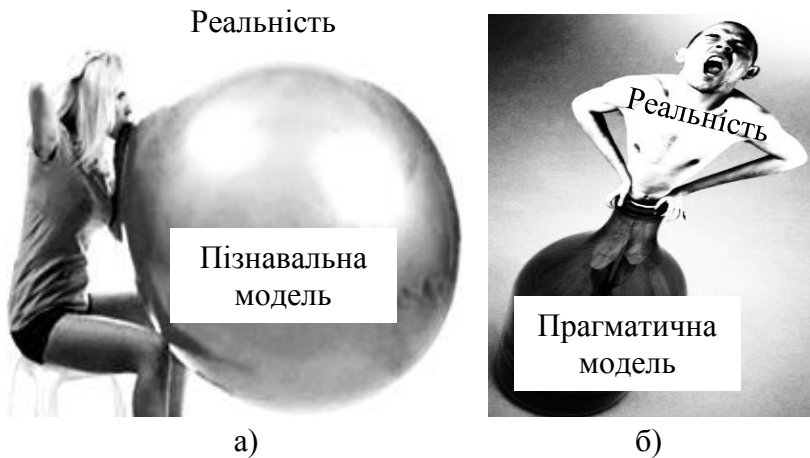


Рисунок 1.1 – Відмінність між пізнавальною а) і прагматичною б) моделями



Основна відмінність між пізнавальними і прагматичними моделями полягає у тому, що пізнавальні моделі відбивають існуюче, а прагматичні – неіснуюче, але бажане і (можливо) здійсненне.

#### 1.4 Моделі статичні та динамічні

Моделі поділяються на статичні та динамічні. Для одних цілей може знадобитися модель конкретного стану об'єкта, неначе його «миттєва фотографія». Такі моделі називаються *статичними*.

У тих же випадках, коли цілі пов'язані не з одним станом, а з відмінністю між станами, виникає потреба у відображенні процесу змін стану. Такі моделі називаються *динамічними*. Динамічну модель, або відображення змін процесу у часі, називають механізмом. *Механізм* – це логічна послідовність елементарних актів, які приводять до досягнення кінцевої мети.

#### 1.5 Види подібності

Щоб деяка матеріальна конструкція могла бути відображенням, тобто в якомусь відношенні заміщала оригінал, між оригіналом і моделлю повинно бути встановлене відношення схожості, подібності. Існують різні види подібності.

Передусім це подібність, утворена у результаті фізичної взаємодії у процесі створення моделі. Прикладами є фотографії, моделі літаків, кораблів або гідротехнічних споруд, макети будинків, ляльки, протези, шаблони, викрійки. Така подібність називається *прямою*.

Треба пам'ятати, що якою б гарною не була модель, вона все-таки лише замітник оригіналу. Навіть тоді, коли модель прямої подібності виконана з того самого матеріалу, що і оригінал, виникають проблеми перенесення результатів моделювання на оригінал. Наприклад, випробування зменшеної моделі корабля на гідродинамічні якості. Частину умов експерименту можна звести до відповідності масштабів моделі

(швидкість течії). Але є частина умов (в'язкість і щільність води, сила тяжіння), яка не може бути масштабована.

Другий вид подібності – це *побічна* подібність, або аналогія. Побічна подібність між оригіналом і моделлю встановлюється не у результаті їх фізичної взаємодії, а виявляється як збіг або достатня близькість їх абстрактних моделей. Найбільш відомим прикладом цього є електромеханічна аналогія. Виявилось, що деякі закономірності електричних та механічних процесів описуються однаковими рівняннями. Тому стало можливим не лише замінити громіздкі експерименти з механічною конструкцією на прості досліди з електричною схемою, але і «прокрутити» на моделі варіанти, в механіці поки що нездійсненні (з довільною і безперервною зміною мас, довжин).

Запишемо диференціальне рівняння теплопровідності для твердого тіла, у якому відсутні внутрішні джерела тепла

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right),$$

та диференціальне рівняння, що описує процес поширення електричного струму

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\gamma}{c_0} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right).$$

Аналогічність цих рівнянь очевидна. Отже, якщо за деяких умов вивчати на моделі процес поширення електричного струму, то це дасть можливість уявити поширення тепла в об'єкті, що нас цікавить.

Роль аналогій (моделей побічної подібності) у науці, техніці, практиці дуже велика. Годинник – аналог часу; піддослідні тварини у медиків – аналоги людського організму; автопілот – аналог льотчика.

Третій, особливий клас реальних моделей утворюють моделі, подібність яких до оригіналу не є ані прямою, ані побічною, а встановлюється за угодою. Це *умовна* подібність. Така угода має вигляд сукупності правил побудови моделей умовної подібності і правил користування ними. Моделі умовної

подібності є засобом матеріального втілення абстрактних моделей. Завдяки цьому абстрактні моделі можуть передаватися від однієї людини до іншої, зберігатися.

Прикладами умовної подібності є гроші (модель вартості), посвідчення особи (офіційна модель володаря), креслення (моделі майбутньої продукції), карти (моделі місцевості). Зв'язок та інформатика використовують специфічні моделі умовної подібності – сигнали. Правила побудови і засоби використання сигналів названі кодом, кодуванням і декодуванням.

### 1.6 Відповідність між моделлю та дійсністю

Повноту відображення дійсності у моделях визначають такі поняття, як *кінцевість*, *спрощеність* та *наближеність*.

Світ, частиною якого ми є, нескінченний. Виникає явне протиріччя: необхідно пізнавати нескінченне кінцевими засобами. Засіб подолання цього протиріччя полягає у побудові моделей. Із множини властивостей об'єкта для моделі вибирають і використовують лише ті, які нас цікавлять. Модель подібна до оригіналу у кінцевій кількості відношень. Це означає *кінцевість* реальних моделей.

Для легкості оперування з моделями їх часто *спрощують*. Кінцевість моделей також приводить до спрощення. Виявляється, що для конкретної мети цілком достатнім є неповне, спрощене відображення дійсності. Іноді спрощення необхідне при недостатності знань або ресурсів. Якщо, наприклад, немає можливості розв'язати нелінійне рівняння, то його замінюють на лінійне.

Наближеність відображення дійсності за допомогою моделей також дозволяє долати протиріччя у пізнанні нескінченного світу. *Наближеність* свідчить про точність моделювання. Точність (і наближеність) залежить від мети. Наручний годинник цілком достатній для побуту, але не придатний для реєстрації спортивних рекордів та для цілей астрономії.

Відношення моделей до реальності, чим відрізняються моделі від змодельованих об'єктів та явищ, наскільки їх можна ототожнювати з оригіналом, визначають *схожість* та *істинність*. Це питання про співвідношення між абсолютною та відносною істиною. Відносна істина може поповнюватися, розвиватися, наближаючись до абсолютної, і межі цьому наближенню не існує. Наприклад, за часів Карно вважалося, що тепло поширюється подібно рідині. У сучасній теорії теплових процесів від моделі теплороду відмовилися, проте деякі рівняння (одержані на моделі з іншою схожістю та іншим рівнем істинності) збереглися.

Помилки у припущеннях мають різні наслідки для прагматичної і пізнавальної мети. Якщо помилки у припущеннях шкідливі і навіть згубні при використанні прагматичних моделей, то при створенні пізнавальних моделей пошукові припущення, істинність яких ще тільки необхідно перевірити, – єдиний засіб розвитку. Роль гіпотез у науці настільки важлива, що вся наукова робота полягає у висуванні і перевірці гіпотез.

### 1.7 Формалізація процесу моделювання

Моделі мають свій життєвий цикл. Вони виникають, розвиваються, співробітничать або змагаються з іншими моделями, поступаються місцем більш досконалим. Перехід моделі від етапу до етапу повинен виконуватися якомога швидше, краще, дешевше. Це неможливо без моделювання самого процесу моделювання, тобто без алгоритмізації моделювання. Наприклад, при впровадженні нової продукції її модель розвивається від результатів попередньої науково-дослідної роботи до технічного завдання, технічного проекту, креслень, дослідного зразка, до моделі, призначеної для промислового випуску.

Отже, у процесі моделювання взаємодіють: об'єкт, суб'єкт, модель, навколишнє середовище (рис. 1.2). При цьому *модель* –

*це цільове суб'єктивне відображення одного об'єкта в термінах іншого.*

Практика моделювання показує, що найчастіше не вдається чітко дотримуватися встановленої послідовності дій. Більше того, взагалі не існує якогось єдиного, придатного для усіх випадків алгоритму роботи з моделями. Це викликано різними причинами.

По-перше, модель функціонує у культурному середовищі, і конкретне оточення кожної моделі може настільки відрізнятися, що досвід роботи з однією моделлю не може без змін переноситися на іншу.



Рисунок 1.2 – Компоненти процесу моделювання

По-друге, вимоги до моделі суперечливі. Повнота моделі суперечить її простоті, точність моделі – її вимірності, ефективність – витратам на реалізацію.

По-третє, із самого початку неможливо передбачити усі деталі того, що відбудеться у майбутньому. Моделювання покликано усунути невизначеність, але існує невизначеність і у тому, що саме треба усувати. Початкові цілі згодом можуть виявитися неповними. Наприклад, за результатами іспитів дослідного зразка часто потрібно вносити зміни у технічне завдання і знову повертатися до етапів проектування зразка.

У цьому процесі, окрім усвідомлених формалізованих, технічних і наукових прийомів, величезну, вирішальну роль відіграють творчість та інтуїція. Це головна причина неможливості повної формалізації процесу моделювання. Ще одна причина неформалізованого розвитку моделі – це її еволюційна динаміка у середовищі, якому вона інгерентна.

### ***Контрольні запитання***

- 1 Яким було первинне визначення моделі і що таке модель?
- 2 У чому полягає цільове спрямування моделей?
- 3 Що називається інгерентністю моделі?
- 4 Що таке адекватність моделі?
- 5 Чим відрізняються пізнавальна і прагматична моделі?
- 6 Що таке механізм процесу?
- 7 Що таке абстрактна модель?
- 8 У чому полягає приблизність мовних моделей?
- 9 Що таке математична модель?
- 10 Що таке пряма та побічна подібність?
- 11 Що таке умовна подібність моделі?
- 12 У чому полягає різниця між поняттями кінцевість, спрощеність та наближеність?

### ***Теми рефератів***

- 1 Основні принципи створення моделей [24], [27], [32].
- 2 Проблема відповідності між моделлю і дійсністю [24], [27], [29].
- 3 Абстрактні моделі [24], [27].

## Розділ 2

# СИСТЕМИ

---

---

### 2.1 Призначення системи

Основним поняттям теорії систем, кібернетики, системного підходу, системного аналізу є поняття системи. Багато авторів, аналізуючи це поняття, розвивали визначення системи до різних ступенів формалізації. Наприклад, А. І. Уйюмов наводить 34 різноманітні визначення системи [33].

Визначення – це мовна модель системи. А те, що це модель, пояснює кількість визначень. По-перше, багато синонімів – багато моделей. Різне мовне середовище (наприклад, філософське і математичне визначення системи) через інгерентність моделі також зумовлює видозмінення визначення.

По-друге (і це головне, відмінності цілей і вимог до моделі приводять до різних визначень.

Як уже зазначалося, будь-яка діяльність людини має цілеспрямований характер. Найбільш чітко це видно на прикладі трудової діяльності.

Уся діяльність спрямована на вирішення проблеми, на досягнення поставленої мети. Це зусилля, спрямовані на відбір із навколишнього середовища об'єктів, властивості та взаємодії яких можна використати. Те, що створюється внаслідок такої роботи, і називають системою. Іншими словами, *система є засобом досягнення мети*. Це і є перше визначення системи.

Проблемність існуючого стану усвідомлюється не одразу. Спочатку з'являється відчуття, що щось тут негаразд, потім усвідомлюється потреба в змінах, після цього визначається проблема і, нарешті, формулюється мета. *Мета – це суб'єктивний образ (абстрактна модель) не існуючого, але бажаного стану середовища, при якому буде вирішена утворена проблема*.

Цілі, що ставить перед собою людина, рідко досяжні лише за рахунок її власних можливостей або засобів, наявних у неї на

даний момент. Такий збіг обставин називається проблемною ситуацією.

Прикладом такої ситуації, що вимагає створення АСК, є випадок, коли звичайні засоби збирання і перероблення інформації не забезпечують необхідної повноти і швидкості її оброблення, що значно знижує якість управлінських рішень.

Дуже складно сформулювати мету так, щоб відповідність між метою і системою була очевидною. Для системи «телебачення» можна сформулювати мету так: «Передати зорову інформацію у звуковому супроводі на великі відстані практично миттєво». Лише слова «практично миттєво» у наведеному прикладі відрізняють мету телебачення від мети кіно або пересилання відеокасет.

Мета системи «міський транспорт» може бути такою: «Забезпечити швидке переміщення великої кількості людей за їх бажанням у межах міста». У цьому прикладі мета міського транспорту сформульована надто грубо. Потрібно буде зробити багато доповнень, щоб відбити його маршрутність.

Одна із причин подібних труднощів полягає у тому, що між метою (абстрактною моделлю) і реальною системою немає і не може бути однозначної відповідності. Для досягнення заданої мети можуть бути обрані різні засоби (системи). З іншого боку, задану реальну систему можна використати і для інших цілей, прямо не передбачених при її створенні (наприклад, дії армії у момент стихійного лиха).

Дуже обережно, ретельно, продумано необхідно підходити до формулювання мети ще не існуючих, а лише створюваних систем. Звичайно мета уточнюється, змінюється і доповнюється.

Проте все це не суперечить першому визначенню системи. Система є засобом досягнення мети, засобом вирішення проблеми, «без проблеми немає системи».

Інший аспект першого визначення системи полягає в його конструктивності. Воно не тільки відповідає на запитання «навіщо потрібна система?», але й орієнтує при вирішенні, який об'єкт із навколишнього середовища необхідно включити до



складу системи. Ф. І. Перегудов [27] вважає, що система є тінню мети на середовищі.

У розглянутому вище визначенні системи зроблено акцент на її призначенні, а про її будову не йдеться нічого. Для повної і точної характеристики конструкції системи потрібно розвивати наявні відомості так, щоб у результаті отримати більш зручну форму. Перейдемо від першого визначення системи до його візуального еквівалента.

По-перше, у наведеному визначенні нічого не йдеться про внутрішню будову системи, тому її можна зобразити у вигляді непрозорої, або «чорної скриньки», виділеної з навколишнього середовища (рис. 2.1). Це відбиває дві важливі властивості системи: цілісність та наявність зовнішньої оболонки.



Рисунок 2.1 – Відображення системи у вигляді чорної скриньки

По-друге, у визначенні системи побічно йдеться про те, що хоча «скринька» і має оболонку і вона виділена із середовища, проте не є повністю від нього ізольованою. Адже досягнення мети – це заплановані заздалегідь зміни у навколишньому середовищі. Інакше кажучи, система зв'язана з навколишнім середовищем і за допомогою цих зв'язків впливає на нього. Зобразимо зв'язки у вигляді стрілки, спрямованої від системи у середовище. Ці зв'язки називаються виходом системи. Вихід системи у графічному відображенні відповідає слову «мета» у словесній моделі (першому визначенні) системи.

У визначенні є вказівка і про наявність зв'язків іншого типу. Система є засобом, тому повинні існувати і можливості її використання, впливу на неї, тобто такі зв'язки із середовищем, які спрямовані зовні у систему. Ці зв'язки також можна

зобразити у вигляді стрілки, спрямованої із середовища у систему. Це вхід системи.

У результаті маємо графічне відображення системи, що отримало назву чорної скриньки. Ця назва підкреслює повну відсутність відомостей про її внутрішню будову. Для багатьох споживачів прикладом може бути телевізор. Маємо входи (шнур для електроживлення, антену, перемикачі) і виходи (екран, звук). Що там усередині цього ящика, ніхто, крім телемайстрів, не знає.

Множину входів можна записати як  $x_i^{\text{TM}} X$ ,  $i = 1, \dots, n$ , а множину виходів – як  $y_j^{\text{TM}} Y$ ,  $y = 1, \dots, m$ . Головною причиною численності входів і виходів у чорній «скриньці» є те, що всяка реальна система, як і будь-який об'єкт, взаємодіє з об'єктами навколишнього середовища необмеженою кількістю засобів. Причому частина входів може бути відомою, а частина невідомою. Із тих, що відомі, частина – керовані, а частина – некеровані. Серед виходів також є такі, про вплив яких на довкілля добре відомо, а є і такі, що про них нічого не відомо або відомо лише те, що вони є. Усе це досить ускладнює побудову системи у вигляді чорної «скриньки», оскільки на питання про те, скільки і що саме слід включити до входу та виходу, не проста і не завжди однозначна. Із безлічі зв'язків відбираємо кінцеве їх число для включення у множини входів і виходів. Критерієм відбору при цьому є цільове призначення системи. Те, що важливе (стосовно мети), включається у множину, несуттєве, – не включається. Саме тут можливі помилки.

У більшості випадків повинна існувати множина цілей. Серед них є головна. Досягнення лише головної мети недостатньо, оскільки невиконання додаткових цілей може зробити непотрібним або навіть шкідливим і небезпечним досягнення основної мети. Наприклад, при створенні засобів боротьби із сільськогосподарськими шкідниками можна отруїти людей і тварин.

Система у вигляді чорної «скриньки» часто виявляється не лише дуже корисною, але у ряді випадків єдиною можливою при

вивченні об'єкта. Проте може бути і так, коли необхідно мати відомості про будову системи. Наприклад, при дослідженні технологічних процесів без повної фізичної моделі стружкоутворення не можна побудувати адекватну математичну модель впливу параметрів режиму різання на показники якості поверхні деталі.

## 2.2 Будова системи

Очевидно, що питання внутрішньої будови системи неможливо вирішити за допомогою моделі чорної «скриньки». При розгляді будь-якої системи передусім виявляється, що її цілісність і відокремленість (відображені у чорній скриньці) виступають як зовнішні властивості. Внутрішність «скриньки» виявляється неоднорідною, що дозволяє розрізнити будову самої системи. Вона складається із певних частин.

Деякі частини системи також можуть бути розбиті на складові і т. д. Ті частини системи, які розглядаються як неподільні, називаються *елементами*. Частини системи, що мають більш ніж один елемент, називаються *підсистемами*. У результаті одержують перелік частин системи (декомпозицію), що описує, з яких підсистем та елементів вона складається. Система обмежується зовні оболонкою, а із середини – елементами. Як ця оболонка, так і межа подрібнення на підсистеми визначаються метою побудови системи, отже, не мають абсолютного характеру.

Як у системи, у підсистем та елементів, із яких вона складається, є свої цілі. Цілі нижчих рівнів декомпозиції підпорядковані цілям вищих рівнів. Так виникає *ієрархія цілей*. Цілі різних рівнів декомпозиції можуть зовсім не збігатися із цілями всієї системи.

Позначивши елементи як  $r$ , можна записати склад системи:  $r_i \in R, i = 1, \dots, n$ . Визначення складу системи лише на перший погляд здається простою справою. Якщо дати різним експертам завдання визначити склад однієї й тієї самої системи, то результати їх праці будуть відрізнятися.

Причин для цього декілька. У різних експертів може бути різним рівень знань про об'єкт. По-різному може визначатися поняття елементарності. Те, що з однієї точки зору є елементом, з іншої – виявляється підсистемою і підлягає подальшому розподілу. Для різних цілей один і той самий об'єкт поділяється на різні частини. Наприклад, один і той самий завод для директора, головного бухгалтера, начальника пожежної охорони складається із цілком різних підсистем. Те, що для одного обов'язково увійде до системи, може зовсім не цікавити іншого. І, нарешті, всякий розподіл цілого на частини, всяке ділення системи на підсистеми є відносним, умовним. Наприклад, гальмівну систему автомобіля можна віднести або до ходової частини, або до підсистеми керування. Іншими словами, кордони між підсистемами умовні, відносні.

Проте це не означає, що сама система або її будова нереальні. Мова йде не про різні системи, а про різні відображення системи.

Для досягнення ряду практичних цілей недостатньо мати всі елементи системи. Щоб отримати автомобіль, мало мати ящик зі всіма його окремими деталями. Необхідно ще правильно з'єднати усі деталі між собою або встановити між елементами певні зв'язки чи відношення:  $e_j \text{™} E$ ,  $j = 1, \dots, m$ . Сукупність необхідних і достатніх для досягнення мети відношень між елементами і самі елементи називають *структурою* системи:  $S = \{E, R\}$ .

Структуру системи можна подати у вигляді схеми, на якій позначені елементи і зв'язки між ними (рис. 2.2).

Структура відбиває лише кінцеве число зв'язків та елементів, які з якоїсь причини істотні щодо встановленої мети. Наприклад, при розрахунку коробки подач верстата не враховуються сили взаємного тяжіння деталей, хоча такі сили об'єктивно існують. Між різальним інструментом та деталлю

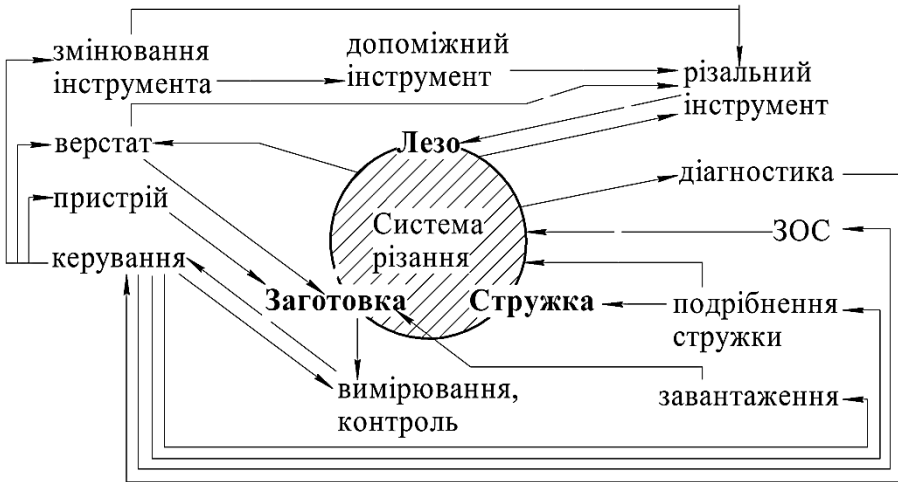


Рисунок 2.2 – Структура металорізального комплексу

виникає різниця потенціалів. І це явище тривалий час обговорюється як істотне при визначенні стійкості інструмента. Тому структура системи забезпечення надійності технологічного процесу може містити таку взаємодію, а може й не містити.

Підсумовуючи усе зазначене про структуру, можна дати визначення системи через її будову: *система – це сукупність взаємодіючих елементів, відокремлених від середовища і взаємодіючих із ним як одне ціле.*

Спрощена схема системи називається графом. Графи є істотним елементом математичних моделей у найрізноманітніших галузях науки і практики [2, 12]. Вони допомагають наочно уявити взаємовідносини між об'єктами або подіями у складних системах. Багато алгоритмічних завдань

дискретної математики можуть бути сформульовані як завдання, так чи інакше пов'язані із графами.

Для опису будови різних систем, що складаються з пов'язаних між собою елементів, часто використовують графічні схеми, зображуючи елементи точками (колами, прямокутниками і т. д.), а зв'язки між ними – лініями або стрілками, що сполучають елементи.

На таких схемах часто спосіб зображення елементів, форма або довжина ліній не мають значення – важливо лише, які саме пари елементів сполучені лініями. На рис. 2.3 а і б зображена та сама структура зв'язків між елементами  $A, B, C, D, E, F$ . Цю саму структуру можна описати, просто перелічивши пари пов'язаних між собою елементів:  $(A, B)$   $(A, D)$   $(B, C)$   $(B, E)$   $(B, F)$   $(C, F)$   $(D, E)$ . Отже, існують два списки: список елементів та список пар елементів. Разом вони складають те, що математики називають «графом». Видно, що поняття графа саме по собі не пов'язане прямо з геометрією або графікою. Проте можливість намалювати граф – одна із привабливих рис цього математичного об'єкта.

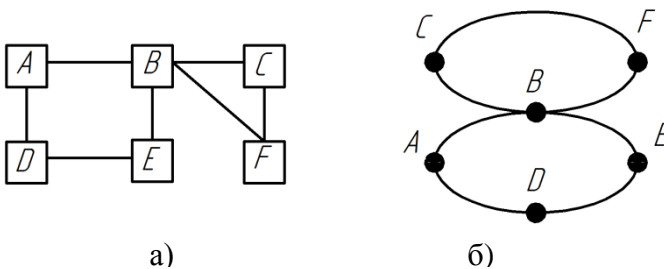


Рисунок 2.3 – Зв'язки між елементами

Термін «граф» неоднозначний, це легко виявити, порівнюючи наведені у різних книгах визначення графа. Проте в усіх цих визначеннях є і загальне. У будь-якому випадку граф складається з двох множин – множини вершин і множини ребер, причому для кожного ребра зазначена пара вершин, які це ребро сполучає. Вершини і ребра називаються елементами графа. Графи мають три основні ознаки:

1. *Орієнтований або неорієнтований граф.* Якщо пари  $(a, b)$  і  $(b, a)$  є різними, то вони розглядаються як упорядковані пари (порядок елементів у парі важливий), якщо ні – неупорядковані. Якщо ребро  $e$  сполучає вершину  $a$  із вершиною  $b$  і пара  $(a, b)$  вважається упорядкованою, то це ребро називається орієнтованим, вершина  $a$  – його початком, вершина  $b$  – кінцем. Якщо ж ця пара є неупорядкованою, то ребро називається неорієнтованим, а обидві вершини – його кінцями. Найчастіше розглядають графи, в яких усі ребра мають один тип, – або орієнтовані, або неорієнтовані. Відповідно до цього і увесь граф називають орієнтованим або неорієнтованим. На рисунках орієнтацію ребра (напрямок від початку до кінця) вказують стрілкою. На рис. 2.3 показані неорієнтовані графи, а на рис. 2.4 – орієнтовані.

2. *Кратні ребра.* Якщо різні ребра мають однакові початки і кінці, то говорять, що в графі допускаються кратні ребра. Граф

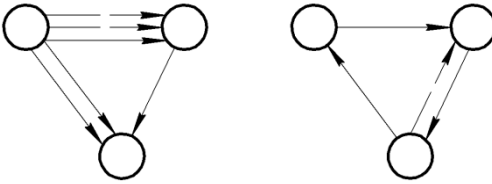


Рисунок 2.4 – Графи з кратними ребрами і без кратних ребер

із кратними ребрами називають також мультиграфом. На рис. 2.4 зображені два графи, лівий є орієнтованим мультиграфом, а правий – орієнтованим графом без кратних ребер.

3. *Петлі.* Ребро, що сполучає вершину  $a$  з нею ж самою, тобто поставлена у відповідність пара вигляду  $(a, a)$  називається петлею. Якщо такі ребра не допускаються, то говорять, що розглядаються графи без петель.

Комбінуючи ці три ознаки, можна отримати різні варіанти визначення поняття графа. Особливо часто зустрічаються неорієнтовані графи без петель і кратних ребер. Такі графи називають звичайними. Якщо в графі немає кратних ребер, то можна просто ототожнити ребра з відповідними парами вершин – вважати, що ребро це і є пари вершин. Щоб виключити петлі, досить обумовити, що вершини, які утворюють ребро, повинні

бути різні. Це призводить до такого визначення звичайного графа.

*Визначення.* Звичайним графом називається пара  $G = (V, E)$ , де  $V$  – кінцева множина;  $E$  – множина неупорядкованих пар різних елементів з  $V$ . Елементи множини  $V$  називаються *вершинами* графа, елементи множини  $E$  – його *ребрами*.

Модифікуючи це визначення, можна отримати визначення інших типів графів без кратних ребер: якщо замінити слово «неупорядкованих» словом «упорядкованих», одержимо визначення орієнтованого графа без петель, якщо прибрати слово «різних», одержимо визначення графа з петлями. Орієнтований граф часто називають *орграфом*.

Позначимо множину вершин графа  $G$  як  $VG$ , множину ребер –  $EG$ , число вершин –  $n(G)$ , число ребер –  $m(G)$ . Тоді для звичайного графа досить перерахувати його вершини і ребра, причому кожне ребро повинно бути парою вершин. Нехай  $VG = \{a, b, c, d, e, f\}$ ,  $EG = \{(a,c), (a,f), (b,c), (c,d), (d,f)\}$ . Отже, є граф  $G$  із  $n(G) = 6$ ,  $m(G) = 5$ . Якщо граф не занадто великий, то наочнішим способом подати його є малюнок, на якому вершини зображуються колами або іншими позначками, а ребра – лініями, що з'єднують вершини. Заданий вище граф  $G$  показаний на рис. 2.5.

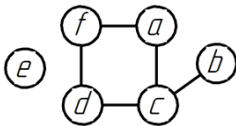


Рисунок 2.5 – Зображення графа

Приклади графів легко знайти у найрізноманітніших галузях науки і практики. Мережа доріг, трубопроводів, електричний ланцюг, структурна формула хімічної сполуки, блок-схема програми – у цих випадках графи

виникають дуже природно і видні «неозброєним оком». Немало причин для появи графів і в математиці. Наприклад, багатогранник у тривимірному просторі. Вершини і ребра багатогранника можна розглядати як вершини і ребра графа. При цьому неважливо, як розміщені елементи багатогранника у просторі, використовується лише інформація про те, які



вершини сполучені ребрами. На рис. 2.6 показані три способи зображувати один і той самий граф тривимірного куба.

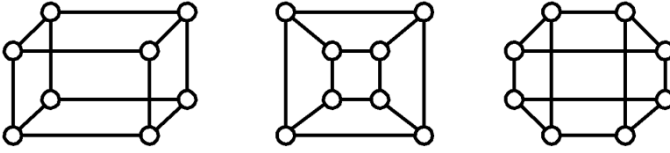


Рисунок 2.6 – Різні способи зображення графа

Ще один спосіб утворення графів із геометричних об'єктів ілюструє рис. 2.7. Є шість кіл на площині, і кожна вершина графа відповідає одному з цих кіл. Коли кола перетинаються, то дві відповідні вершини сполучені ребром. Такі графи називають

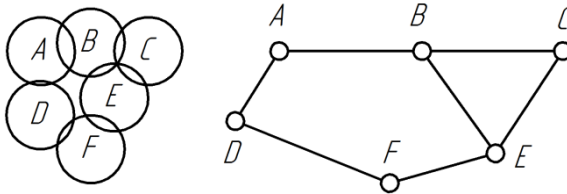


Рисунок 2.7 – Граф перетинів

графами перетинів. Для будь-якої сім'ї множин  $\{S_1, \dots, S_n\}$  можна побудувати граф перетинів із множиною вершин  $\{1, \dots, n\}$ , у якому ребро  $(i, j)$  є тоді і тільки тоді, коли  $i \neq j$  і  $S_i \cap S_j \neq \emptyset$ .

За допомогою графів є можливість досліджувати системи з різноманітними структурами. Існує теорія графів.

Аналіз визначень моделі і системи (табл. 2.1) показує, що це надто схожі мовні конструкції. У чому ж різниця між поняттями «модель» та «система»?

І модель, і система цілеспрямовані, відокремлені від середовища оболонкою і взаємодіють з ним, відображають якийсь об'єкт. Із визначень понять моделі та системи випливає, що це штучно створені людиною засоби для досягнення певної мети. З їх допомогою можна розв'язувати практичні задачі.

Проте коли необхідно пояснити або вивчити взаємодії між певною сукупністю окремих частин, тоді краще назвати цю сукупність та взаємодії системою. *Система – це цільове суб’єктивне відображення у нашій свідомості об’єктивної дійсності* [40]. Система збігається з об’єктом, це наше сприйняття його.

Таблиця 2.1 – Визначення моделі і системи

	<b>Модель</b>	<b>Система</b>
1	Допоміжний засіб, об’єкт, який у певній ситуації замінює другий об’єкт	Засіб досягнення мети
2	Результат інтерпретації першої моделі у термінах та образах іншої	Сукупність взаємозв’язаних елементів, відокремлена від середовища і така, що взаємодіє з ним як єдине ціле
3	Цільове відображення оригіналу, узгоджене із середовищем, у якому буде функціонувати	Цільове суб’єктивне відображення об’єктивної дійсності
4	Системне відображення оригіналу	Тінь мети на середовищі

Отже, *система – це результат процесу пізнання, суб’єктивний ідеальний образ дійсності, результат аналізу й синтезу.*

Очевидно, якщо йдеться про фізичну заміну одного об’єкта на інший, то це модель. Модель існує поряд з об’єктом, повторює його в інших термінах із необхідною (чи можливою) повнотою і точністю.

*Модель – це копія об’єкта, тобто ще один об’єкт, матеріальний чи ідеальний, який відбиває певні властивості та характеристики первинного об’єкта.*

Тому можна говорити про модель об’єкта, про модель системи.

Узагальненням та поєднанням понять «модель» та «система» є твердження, що модель це системне відображення оригіналу, тобто створення його копії на підставі наявних знань.

### 2.3 Класифікація систем

Найважливішим етапом системного аналізу є класифікація системи, що досліджується. Вона виконується з урахуванням максимально можливої кількості знань (на перший погляд тривіальних) про об'єкт. Це дозволяє вибрати правильну стратегію аналізу. Будь-яка система є цілісною та відокремленою щодо навколишнього середовища. Її склад звичайно не однорідний, що дозволяє розчленувати її на складники, а ті, у свою чергу, на більш дрібні частини. Звичайно ті частини, що для даної системи вважаються неподільними, називають елементами. Щодо характеру елементів і типу системної цілісності немає жодних обмежень. Елементи можуть бути матеріальними об'єктами або ідеальними конструкціями. Системні дослідження містять велику частку суб'єктивізму. Це пов'язано з тим, що потрібно самому досліднику виділяти елементи і вирішувати, як вони взаємодіють між собою і з оточенням. Тому навіть класифікація систем є досить складним завданням. А класифікація необхідна для того, щоб підібрати один із відомих засобів для її аналізу. Найбільш вірогідні результати одержуються при використанні у ході аналізу математики (функціональний аналіз, чисельні засоби та ін.), але разом із тим можливе застосування логічного апарату.

Відповідно до наведеної Ф. І. Перегудовим та Ф. П. Тарасенко класифікації [27] системи поділяються на відкриті і замкнені (рис. 2.8). Вважається, що система *замкнена*, якщо її властивості зберігаються при зміні умов у навколишньому середовищі. Це усталена система, що зберігається навіть при впливові зовнішніх збуджень (Черчмен, [15]).

Нехай існують системи  $X_1, X_2, \dots, X_i$  і деякий елемент  $x_j \in X_k$ . Тоді відношення еквівалентності  $G_1(x_j, x_k)$  задає нову підмножину, що міститься у системі  $X_k$ :  $X_j(G_1) \in X_k$ , і містить

даний елемент  $x_j \in X_j(G_I)$ . Відношення  $G_I$  свідчить, про яку саме з усіх систем  $(X_1, \dots, X_i)$  йдеться, тому що вона містить  $X_j(G_I)$ . М. Месарович [11] вважає систему замкненою, якщо відношення  $G_I$  (або деяка послідовність відношень) однозначно визначає один елемент у множині  $X_j(G_I)$ . Наявність таких відношень дозволяє запровадити керування системою.

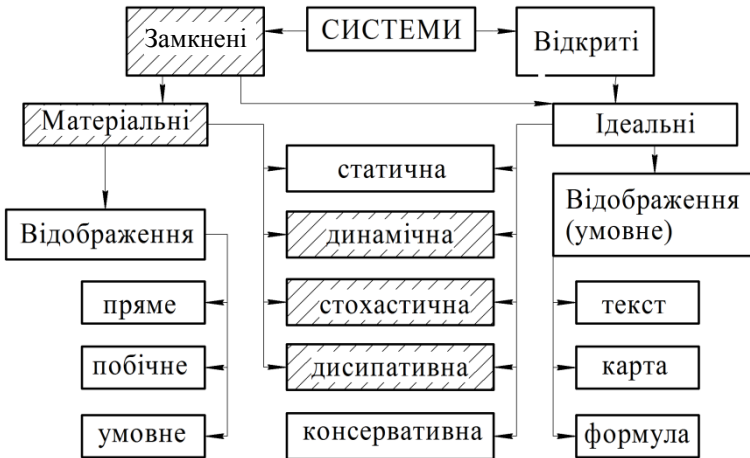


Рисунок 2.8 – Класифікація систем

Т. К. Сиразетдинов відзначає, що неусталених систем у природі не існує, це уявні системи [30]. Тоді необхідно пом'якшити вимоги [25] до визначення замкнутості, і *замкненою* може вважатися не лише така система, що містить елементи та їх взаємодії, які не піддаються впливу зовні, але і система з такими елементами, які мало піддаються такому впливу і при цьому беруть участь у досягненні мети системи. В іншому випадку – система *відкрита*.

Властивість системи зберігати заданий їй рух або урівноважений стан при дії малих збуджень називається усталеністю. Якщо неусталений процес спостерігати не можна, то усі технічні системи, що повинні існувати на певному відрізьку часу  $[\tau_0, T]$ , в тому чи іншому ступені усталені. За А. М. Ляпуновим стан системи усталений [30], якщо для будь-

якого заданого як завгодно малого додатного числа можна назвати таке додатне число  $\delta = \delta(\varepsilon)$ , яке залежить тільки від  $\varepsilon$ , що для всіх початкових відхилень

$$x_i(\tau_0) < \delta(\varepsilon) \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

у будь-який момент часу  $\tau > \tau_0$  виконується нерівність

$$x_i(\tau) < \varepsilon \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Багато технічних систем існує у порівняно малому проміжку часу і під впливом великих збуджень. Відрізок часу  $[\tau_0, T]$  у визначенні сталості означає обмежений, але досить тривалий час. Тому усталеність реальних систем на відміну від теоретичного визначення все-таки виявляється в умовах досить великих постійно діючих збуджень кінцевого інтервалу часу.

Наприклад, якщо процес різання спостерігається, то і система, що його створює, повинна бути усталеною (тобто замкненою). Але при цьому накладені обмеження на зовнішні збурення. Більше того, особливістю процесу різання є те, що встановити розумні межі на параметри зовнішніх збурень (при яких система різання замкнена) зовсім не важко. Однак зовнішні чинники істотно впливають на інтенсивність зношення леза, що в кінцевому підсумку і визначає період існування системи різання. При цьому найголовнішою проблемою стає оптимізація зовнішніх чинників. Усе це доводить, що система різання – замкнена система.

Системи бувають *матеріальними* та *ідеальними* (див рис. 3.4). Ідеальна конструкція будується засобами мислення. Відображається у вигляді тексту, математичних формул.

Матеріальна конструкція – це реальне відображення, що може бути прямим, побічним та умовним.

*Пряма подібність* системи (моделі) – це масштабів макети.

*Побічна подібність* системи – це збіг її поведінки з об'єктом, елементи та взаємодії якого підкоряються цілком іншим фізичним законам. Рух електричного струму можна моделювати рухом рідини трубопроводами. Відома електромеханічна аналогія процесу різання С. С. Сіліна [29].

Система може бути *умовно подібною* до об'єкта. Це, наприклад, сигнали з приладів, які реєструють сили різання,

температуру, зношення леза. Умовно подібна система є засобом втілення абстрактної системи.

Системи можуть відображати штучні, природні і змішані об'єкти. Елементи та їх взаємодії можуть бути описані якісно або кількісно. Системи можуть керуватися зовні, бути самокеровані і з комбінованим керуванням.

Системи поділяються на *статичні* й *динамічні* (див рис. 3.4). Структура системи відображає її у деякий момент часу, є немов би фотографією. У цьому сенсі система може бути названа статичною, що підкреслює її непорушний, незмінний характер. Але дослідження системи полягає у тому, щоб зрозуміти і описати, як вона «працює», що відбувається у ній самій і з навколишнім середовищем у ході реалізації поставленої мети. Очевидно, що і підхід до опису, і ступінь подробиць опису процесів, що відбуваються, повинні відбивати поведінку системи, послідовність етапів, причинно-наслідкові зв'язки.

Системи, в яких із часом відбуваються зміни, називаються *динамічними*. Поняття «динамічний» використане як ознака будь-яких змін у часі.

Розрізняють два типи динаміки системи: функціонування і розвиток. *Функціонування* – це процеси, що відбуваються у системі (і в її оточенні) при стабільній реалізації поставленої мети (годинник, міський транспорт, кінотеатр, верстат, навчальний заклад).

*Розвиток* – це те, що відбувається із системою при зміні її мети. Характерною ознакою розвитку є той факт, що існуюча структура перестає відповідати новій меті і для забезпечення нової функції потрібно змінювати структуру.

Стани розвитку та функціонування не виключають один одного. При реконструкції одного цеху інші функціонують, завод у цілому розвивається. Навіть при докорінній перебудові системи якісь елементи і навіть підсистеми старої структури можуть продовжувати функціонувати у новій по-старому. Можливі і такі системи, для функціонування яких деякі їх підсистеми повинні постійно перебувати у стані розвитку.

Структура динамічної системи означає, що елементи та їх взаємодії залежать від часу, тобто мають тимчасовий характер:  $r_i(\tau) \in R$ ,  $i = 1, \dots, n$ ;  $e_j(\tau) \in E$ ,  $j = 1, \dots, m$ . Динамічна система – будь-яка система, що може набирати різноманітних математичних форм [4].

Прикладом такого математичного подання динамічної системи є трійка  $S = \{E, R, T\}$  [32], де  $T$  – множина відрізків часу,  $\tau_k \in T$ ,  $k = 1, \dots, p$ ;  $R$  – множина елементів;  $E$  – множина взаємодій, або поведінка системи, що сумісна із законами, що керують динамічною системою.

Розглядаючи вихід  $y(\tau)$  системи (це може бути вектор) як її реакцію на керовані  $u(\tau)$  та некеровані  $v(\tau)$  входи  $x(\tau) = \{u(\tau), v(\tau)\}$ , можна вважати  $y(\tau)$  результатом деякого перетворення  $\Phi$  процесу  $x(\tau)$ , тобто  $y(\tau) = \Phi(x(\tau))$ . Чорна «скринька» припускає, що це перетворення невідоме. У тому ж випадку, коли вона перетворюється на білу «скриньку», відповідність між входом та виходом можна описати тим або іншим засобом.

Технічні системи інерційні, тобто не можуть бути переведені в інший стан миттєво. Додамо, що реальні системи підпорядковані *принципу причинності*. Згідно з цим принципом відгук системи на деякий вплив не може початися раніше від самого впливу.

Нехтуючи цим принципом та не враховуючи інерцію розвитку систем, витрачено багато зусиль на створення технічних пристроїв, які були б здатні визначити і відреагувати на критичне зношення інструменту. Відомо, що механізм руйнування уявляється як процес утворення магістральної тріщини. Спочатку відбувається переміщення окремих дислокацій або їх невеликих груп. Після цього при зростанні деформівного зусилля з'являються колективні дислокаційні ефекти, що викликає утворення мікротріщин. Час їх зародження становить  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  с. [26]. Зрозуміло, що ніякі механічні пристрої не здатні за такий короткий проміжок часу зупинити верстат. Проведені дослідження якихось специфічних фізичних ефектів, які б передували руйнуванню, не виявили.

Ця умова очевидна для реальних систем, що зовсім не автоматично виконується у рамках математичних моделей. Наприклад, маючи опис процесу у вигляді математичного виразу, можна прогнозувати результат того чи іншого впливу на систему.

Поведінка системи може бути *стохастичним* процесом  $\{E(\tau, w), \tau \in T, w \in W\}$ , сім'єю випадкових величин, що є функцією часу. Для фіксованого моменту часу  $E(\tau_0, w)$  є випадковою величиною, а для фіксованого параметра взаємодії системи із зовнішнім середовищем  $E(\tau, w_0)$  – функцією часу [31].

Існують системи з тертям і без тертя [8]. При терті існує атрактор, тобто асимптотична межа (при  $T \rightarrow \infty$ ) рішень, на які прямо не впливають початкові умови. У механіці такі системи відомі як *дисипативні* (що поглинають енергію). Системи без тертя називаються консервативними, або гамільтоновими.

Тоді, повертаючись до прикладу із системою різання, можна сказати, що вона (див. рис. 2.8) замкнена, матеріальна, динамічна, стохастична, дисипативна. Використання методології системного аналізу забезпечує високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Іноді у наведеній класифікації визначення «замкнені» змінюють на «закриті». Якщо багато технічних систем існує у порівняно малому проміжку часу  $[\tau_0, T]$  і сталість означає обмежений час, то краще використовувати термін «замкнені». Коли йдеться про обмеження обміну енергією з навколишнім середовищем (реактор атомної електростанції), то краще використовувати термін «закриті».

Класифікують системи за походженням (до системи входять штучні природні та змішані об'єкти), за рівнем формалізації зав'язків та математичними методами, за способом та умовами керування [37] й ін.

## 2.4 Системність практичної діяльності



Будь-яка свідомо діяльність має певну мету. У ній можна розрізнити складові або більш дрібні дії. Ці складові виконуються не у довільному порядку, а в певній послідовності. Це і є (підлеглий меті взаємозв'язок складових діяльності) ознака системності.

Інша назва такої побудови діяльності – *алгоритмічність*. Цей термін спочатку застосовувався у математиці і відображав деяку послідовність однозначних операцій над числами або іншими математичними об'єктами. Останніми роками він зустрічається у будь-якій діяльності. Є алгоритми прийняття управлінських рішень, алгоритми навчання, алгоритми гри в шахи, алгоритми винахідництва [4]. Отже, всяка діяльність алгоритмічна. Але не завжди алгоритм реальної діяльності усвідомлюється. Композитор пише музику, водій миттєво реагує на зміни дорожніх обставин, «не думаючи». Якщо не задовольняють результати діяльності, то можливу причину невдачі потрібно шукати в недосконалому алгоритму. Необхідно виявити алгоритм, дослідити його, знайти й усунути слабкі місця. Удосконалюючи алгоритм, підвищують системність діяльності.

Таким чином, явна алгоритмізація будь-якої практичної діяльності є важливим засобом покращання кінцевих результатів. Це можна спостерігати на прикладі вирішення проблеми підвищення продуктивності праці.

Найпростіший та історично перший засіб підвищення ефективності праці – *механізація*. Людина озброюється механізмами (від важеля та похилої площини до складних машин із вбудованими у них двигунами) і з їх допомогою здатна виконувати важку фізичну роботу. Однак у механізації є природна межа. Роботою механізмів керує людина, а її можливості обмежені фізіологічно. Не можна робити лопату занадто широкою, машина не повинна мати занадто багато індикаторів і важелів управління. Швидкість реакції людини обмежена, тому механізація дуже швидких процесів безглузда. Отже, можливості людини обмежують механізацію.

Вирішення проблеми полягає у тому, щоб взагалі виключити людину з конкретного виробничого процесу і покласти на плечі машини не лише виконання самої роботи, але й операції з регулювання процесу роботи. Технічні прилади, що об'єднали ці дві функції, називаються автоматами. А наступний рівень підвищення продуктивності праці отримав назву *автоматизації*. У побут увійшли торгові автомати, автоматичний телефонний зв'язок, у промисловості існують автоматичні лінії, цехи і заводи, розвивається автоматизація з допомогою ЕОМ. Проте повністю перекласти на машину можна лише ті роботи, які детально вивчені, про які точно відомо, що, у якому порядку і як треба робити у кожному випадку. Лише за таких умов можна сконструювати відповідний автомат, тому що автомат реалізує деякий алгоритм. І якщо алгоритм у якійсь своїй частині неправильний або неточний чи виникла ситуація, не передбачена алгоритмом, то автомат стає непридатним. Це природна межа автоматизації.

Проблеми, пов'язані з відсутністю алгоритму, виникають у процесі керування людськими колективами, при управлінні виробничими системами, при втручанні у життєдіяльність людського організму, при впливові людини на природу. Для підвищення ефективності такої взаємодії людство виробляє засоби вирішення подібних проблем, які являють собою третій рівень системності практичної діяльності людини. Цей рівень називається *кібернетизацією*, тому що кібернетика – наука про управління складними системами. Співвідношення між трьома розглянутими рівнями організації праці показано на рис. 2.9. Кібернетизація базується на



Рисунок 2.9 – Співвідношення засобів підвищення продуктивності праці

*інтелекті* – здатності орієнтуватися в незнайомих умовах і знаходити рішення слабоформалізованих задач. Інтелект властивий живим істотам, проте працюють і над створенням штучного інтелекту.

## 2.5 Моделювання інтелекту

Незважаючи на значний прогрес у вивченні головного мозку, він досі залишається загадкою. Функціонування окремих клітин вивчене досить добре, проте як мозок функціонує як єдине ціле можна пояснити лише у спрощеному вигляді.

Відомо, що головний мозок складається із зв'язаних між собою нейронів [21]. У мозку людини їх від 5 до 20 млрд. Нейрон (від грецького – волокно, нерв) є клітиною, яка обробляє і передає інформацію за допомогою електричних і хімічних сигналів. Ця клітина має ядро, тіло і два типи відростків – дендрити й аксони (рис. 2.10). У більшості нейронів багато дендритів і лише один аксон.

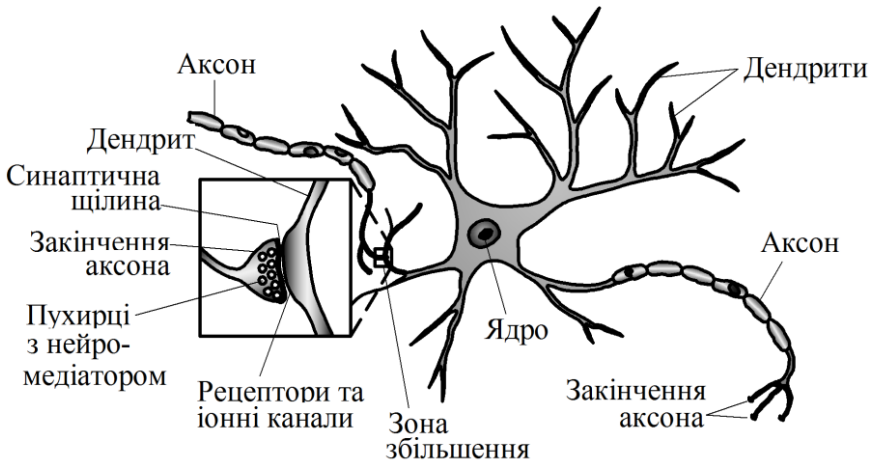


Рисунок 2.10 – Будова нейрона

Інформація в мозку передається за допомогою нервових імпульсів, які поширюються від тіла клітини до закінчення

аксона. У закінченні аксона є пухирці з нейромедіаторами (хімічними речовинами). Коли імпульс досягає закінчення аксона, нейромедіатор вивільняється у так звану синаптичну щілину між аксоном і дендритом.

На дендритах є тисячі синапсів (від грецького – з'єднання, зв'язок), через які вони контактують з аксонами інших нейронів. З'єднуючись одна з одною, клітини формують *біологічні нейронні мережі*.

Нервові імпульси в результаті отримання дендритами інформації від інших нейронів надходять до тіла нейрона. Функція нейрона полягає в інтеграції усіх впливів, які сприймаються через синапси на дендритах. Оскільки ці впливи можуть бути або збуджувальними, або гальмівними і не збігатися за часом, то нейрон повинен обчислювати загальний ефект синаптичної активності як функцію часу.

## 2.6 Штучний нейрон

Кожен нейрон характеризується своїм поточним станом за аналогією з нервовими клітинами головного мозку, які можуть бути збуджені або загальмовані. Він має групу синапсів – однонаправлених вхідних зв'язків, сполучених із виходами інших нейронів, а також має аксон – вихідний зв'язок цього нейрона, з яким сигнал (збудження або гальмування) надходить на синапси наступних нейронів. Загальний вигляд штучного нейрона наведений на рис. 2.11 [14].

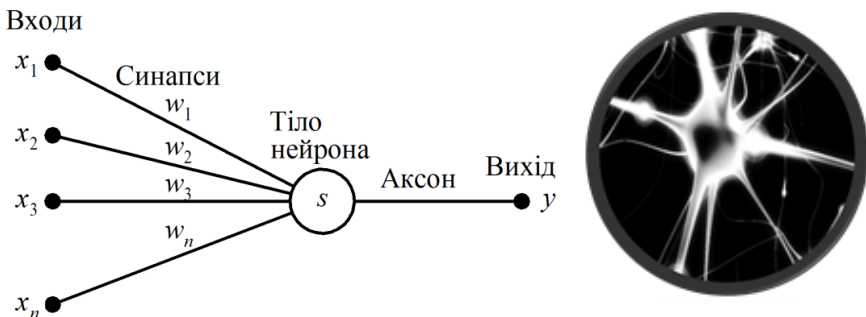


Рисунок 2.11 – Модель штучного нейрона

Штучний нейрон у першому наближенні імітує властивості біологічного нейрона. Тут множина вхідних сигналів, позначених  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , надходить на штучний нейрон.

Ці вхідні сигнали, в сукупності позначені вектором  $X$ , відповідають сигналам, що надходять до синапсів біологічного нейрона.

Кожен синапс характеризується величиною синаптичного зв'язку або його вагою  $w_i$ . Кожен сигнал множиться на відповідну вагу і надходить на блок, що підсумовує. Кожна вага відповідає «силі» одного біологічного синаптичного зв'язку. (Множина вагів у сукупності позначається вектором  $W$ ).

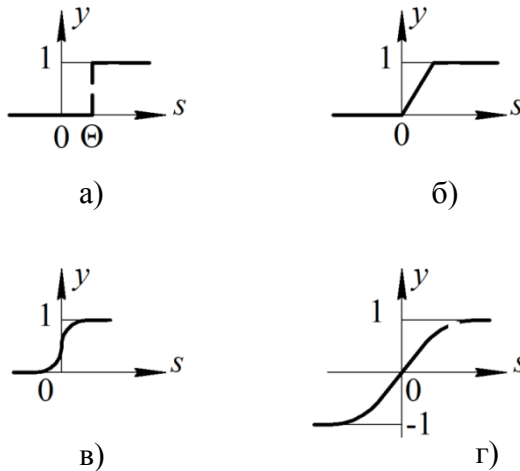


Рисунок 2.12 – Графіки активаційних функцій:

а – порогова; б – лінійна; в – сигмоїдальна;

г – гіперболічний тангенс

Підсумовувальний блок відповідає тілу біологічного елемента, алгебраїчно складає зважені входи, створюючи величину  $s$ . Таким чином, поточний стан нейрона визначається

як зважена сума його входів: 
$$s = \sum_{i=1}^n x_i w_i .$$

Значення  $s$  визначає повне зовнішнє збудження, сприйняте нейроном. Відгук нейрона далі описується за принципом «усе або нічого», тобто змінна піддається нелінійному пороговому перетворенню, при якому вихід (стан активації нейрона)  $y$  встановлюється таким чином, що дорівнює одиниці, якщо  $s > \Theta$ , або  $y = 0$  – в іншому випадку.

Порогове значення  $\Theta$  часто призначається таким, що дорівнює нулю, зберігається у локальній пам'яті. Отже, вихід нейрона є функцією його стану:  $y = f(s)$ , де  $f$  – активаційна функція, яка уточнює нелінійну передатну характеристику біологічного нейрона, табл. 2.1, рис. 2.12.

Таблиця 2.1 – Функції активації нейронів

Назва функції	Формула	Область визначення
Порогова	$f(s) = \begin{cases} 1, & s > \Theta \\ 0, & s \leq \Theta \end{cases}$	(0, 1)
Лінійна	$f(s) = \begin{cases} 0, & s \leq \Theta \\ s, & s > \Theta \end{cases}$	(0, 1)
Сигмоїдальна	$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}$	(0, 1)
Гіперболічний тангенс	$f(s) = \frac{e^{as} - e^{-as}}{e^{as} + e^{-as}}$	(-1, 1)

## 2.7 Штучні нейронні мережі

2.7.1 Одношарові штучні нейронні мережі. Хоча один нейрон і здатний виконувати прості процедури розпізнавання, сила нейронних обчислень виникає від з'єднань нейронів у мережах. Проста мережа складається з групи нейронів, що утворюють шар (рис. 2.13). Кожен елемент із множини входів  $X$  з окремою вагою сполучений із кожним штучним нейроном. А кожен нейрон видає вихід у мережу. У штучних і біологічних

мережах багато з'єднань можуть бути відсутніми. Можуть мати місце також з'єднання між виходами і входами елементів у шарі.

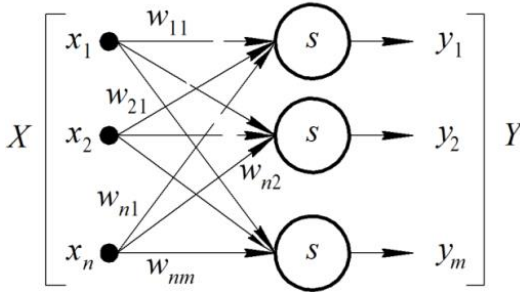


Рисунок 2.13 – Одношарова нейронна мережа

Множина вагів є елементами матриці  $W$ . Матриця має  $n$  рядків і  $m$  стовпців, де  $n$  – число входів, а  $m$  – число нейронів. Наприклад,  $w_{21}$  – це вага, яка зв'язує другий вхід із першим нейроном. Таким чином, обчислення вихідного вектора  $Y$ , компонентами якого є виходи  $y_i$  нейронів, зводиться до матричного множення  $Y = XW$ .

2.7.2 Багатошарові штучні нейронні мережі (рис. 2.14) мають більші обчислювальні можливості. Пошарова організація нейронів більш точно копіює шаруваті структури певних відділів мозку. Виявилось, що такі багатошарові мережі мають більші можливості, ніж одношарові, останніми роками були розроблені різноманітні алгоритми для їх навчання.

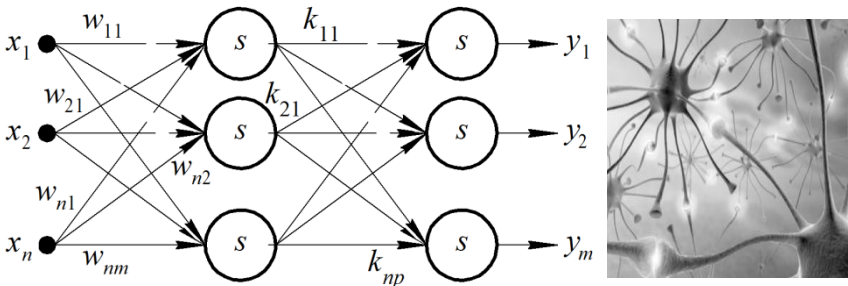


Рисунок 2.14 – Багатошарова нейронна мережа

Штучні нейронні мережі (ШНМ) будуються за принципами організації та функціонування їх біологічних аналогів. Вони здатні вирішувати широке коло завдань розпізнавання образів, ідентифікації, прогнозування, оптимізації, управління складними об'єктами. Подальше підвищення продуктивності комп'ютерів пов'язують з ШНМ, зокрема з нейрокомп'ютерами, основу яких складає штучна нейронна мережа.

До недавнього часу над штучними нейронними мережами домінували логічні та символічно-операційні дисципліни (наприклад, експертні системи). Зараз популярніша точка зору, що штучні нейронні мережі незабаром замінять собою сучасний штучний інтелект.

2.7.3 Математична модель двошарової штучної нейронної мережі має такий вигляд.

Нехай  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – будь-яка безперервна функція і  $\varepsilon > 0$  – як завгодно мале число, що означає точність апроксимації.

Існують таке число  $m$ , множина чисел  $w_{ij}$  і множина чисел  $v_i$ , за яких функція

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^m v_i \sigma \left( \sum_{j=0}^n w_{ij} x_j \right)$$

наближається до функції  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  з похибкою, не більшою від  $\varepsilon$  на усій області визначення. Через  $\sigma$  тут позначена активаційна (сигмоїдальна) функція. Ця формула відповідає структурі двошарової нейронної мережі, отже, будь-яку безперервну функцію декількох змінних можна із заданою точністю відтворити за допомогою нейромережі з достатньою кількістю нейронів.

## 2.8 Навчання нейронної мережі

За своєю організацією та функціональним призначенням штучна нейронна мережа із декількома входами і виходами виконує деяке перетворення вхідних параметрів у вихідні сигнали.



Число перетворюваних параметрів дорівнює  $n$  – числу входів мережі, а число вихідних сигналів відповідає числу виходів  $m$ .

Сукупність вхідних параметрів утворює векторний  $X$  розмірності  $n$ . Аналогічно, вихідний вектор позначається  $Y$ . Тепер нейронну мережу можна подати як деяку багатовимірну функцію  $F$ , аргумент якої належить входу, а значення – виходу.

При довільному значенні синаптичних вагових коефіцієнтів нейронів мережі функція, що реалізується мережею, також довільна. Для отримання необхідної функції потрібний специфічний вибір вагів. Упорядкована сукупність усіх вагових коефіцієнтів усіх нейронів може бути подана, як вектор  $W$ . Множина таких векторів також формує векторний простір, що називається простором станів, або конфігураційним простором  $W$ .

Утворення вектора в конфігураційному просторі повністю визначає усі синаптичні ваги і тим самим стан мережі. Стан, за якого нейронна мережа виконує необхідну функцію, називають навченим станом мережі  $W_1$ . Завдання навчання еквівалентне побудові процесу переходу в конфігураційному просторі від деякого довільного стану  $W_0$  до навченого стану.

Необхідна функція однозначно описується шляхом завдання відповідності кожному вектору  $X$  деякого вектора  $Y$ .

У багатьох практичних випадках значення необхідних функцій для заданих значень аргументу виходять з експерименту або спостережень і, отже, відомі лише для обмеженої сукупності векторів. Крім того, відомі значення функції можуть містити похибки, а окремі дані можуть навіть частково суперечити один одному. З цих причин перед нейронною мережею зазвичай ставиться завдання наближеного подання функції за наявними прикладами.

Наявні у розпорядженні дослідника приклади відповідностей між векторами або спеціально відібрані з усіх прикладів найбільш представницькі дані називають навчальною вибіркою.

Навчальна вибірка визначається зазвичай завданням пар векторів, причому у кожній парі один вектор відповідає входу, а інший – виходу (необхідній реакції).

Навчання нейронної мережі полягає в розрахунку вагових коефіцієнтів нейронів, щоб при відомому векторі входу вектор виходу із заданою точністю відповідав вектору з навчальної вибірки.

У контексті ШНМ вирішуються такі проблеми [5]:

*Класифікація образів.* Завдання полягає у визначенні належності вхідного образу (мовного сигналу або рукописного символу) певному класу. Застосовується при розпізнаванні літер, слів, сигналів електрокардіограм.

*Кластеризація/категоризація.* Застосовується при класифікації образів «без учителя», коли відсутній навчальний вектор (множина експериментальних результатів). Алгоритм кластеризації базується на подібності образів – збирає подібні образи в один кластер. Кластеризація використовується для добування відомостей із бази знань.

*Апроксимація функцій.* Якщо невідома функція  $(x)$  генерує навчальну вибірку  $((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_n, y_n))$  (пари даних вхід–вихід), спотворену шумом, то апроксимація знаходить функцію  $(x)$ . Апроксимація функцій необхідна при вирішенні інженерних та наукових проблем.

*Прогнозування.* Задані  $n$  дискретних значень величини  $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}$  у послідовні моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Необхідно визначити значення  $y(t_{n+1})$  в момент часу  $t_{n+1}$ . Впливає на ухвалення рішень у бізнесі, науці й техніці.

*Оптимізація.* Оптимізація – це знаходження такого рішення, яке максимізує або мінімізує цільову функцію. Застосовується в техніці, науці, медицині, економіці.

*Пам'ять, що адресується за змістом.* Асоціативна пам'ять, або пам'ять, що адресується за змістом, доступна за вказівкою заданого змісту. Вміст пам'яті може бути викликаний навіть за частковим або спотвореним змістом. Використовується при створенні мультимедійних інформаційних баз даних, машинних перекладачів текстів.

*Управління.* Якщо динамічна система задана сукупністю  $\{u(t), y(t)\}$  (де  $u(t)$  – керуючий вплив, а  $y(t)$  – вихід системи у момент часу  $t$ ), то управління передбачає визначення такого керуючого впливу  $u(t)$ , при якому система рухається заданою траєкторією.

В умовах кібернетизації людина виконує саме ті операції у загальному алгоритмі, які не піддаються формалізації (наприклад, експертна оцінка або порівняння варіантів, прийняття управлінських рішень, взяття на себе відповідальності). При цьому формалізовані операції виконують автомати і ЕОМ. Отже, кібернетизація полягає у розумному використанні природного людського інтелекту.

Природна системність людської діяльності є одним із об'єктивних чинників виникнення і розвитку системних понять і теорій. Роль знання і дотримання принципів системності на практиці зростає. Алгоритмізація будь-якого виду діяльності – важливий засіб підвищення її системності.

Ймовірність успішності будь-якої діяльності тим більша, чим вищий рівень її системності. Невдачі викликані недостатньою системністю.

## 2.9 Системність пізнавальних процесів

Протиріччя між нескінченністю природи й обмеженістю ресурсів людства впливає на сам процес пізнання людиною навколишнього світу. Одна з таких особливостей пізнання, що дозволяє поступово, поетапно долати це протиріччя, – наявність аналітичного й синтезуючого способів мислення. Суть *аналізу* полягає у розподілі цілого на частини, у поданні складного у вигляді сукупності більш простих компонент. Але щоб пізнати ціле, складне, необхідний і зворотний процес – *синтез*.

Це стосується не лише індивідуального мислення, але і загальнолюдського знання. У стародавні часи переважали неподільні знання, природа розглядалась як одне ціле. Аналіз знань привів до утворення різноманітних наук, і диференціація наук ще триває для поглибленого вивчення більш вузьких

питань. Синтез здобутих знань відбувається під впливом філософії, математики, теорії систем, які необхідним чином поєднують технічні, природні й гуманітарні знання.

Нарощування системності знань відбувається в усіх галузях людської діяльності (рис. 2.15).

Отже, системність процесу пізнання передусім виявляється в його логічній послідовності, а саме в існуванні етапів аналізу і синтезу. Що стосується самого світу, то він, можливо, байдужий до того, хто і як його пізнає (і чи пізнає взагалі) і не має нічого спільного з нашими уявленнями.

Філософи по-різному відповідають на це питання. Наприклад, Ф. Бекон вважав, що розумові побудови повністю довільні і ніщо не відповідає їм у природі. Б. Спіноза твердив, що порядок і зв'язок ідей такі ж, як і порядок та зв'язок речей. І. Кант дійшов висновку, що системність є властивістю природи. Ф. Енгельс відзначав, що якщо продукти людського мозку є продуктами природи, то вони такі ж, як і природа. П. Берже та інші [8] стверджували, що в оточенні безмежного хаосу можна віднайти будь-які системні конструкції.



Рисунок 2.15 – Системність діяльності людини

Але як би там не було, людина безперечно володіє таким методом, як системність. Це свого роду пристосування, створене

для подолання нескінченності навколишнього світу, полегшення, спрощення своєї діяльності.

Пізнавальний образ навколишнього світу, або знання, є наслідком взаємодії об'єкта і суб'єкта. Джерелом пізнання є існуюча незалежно від свідомості об'єктивна дійсність. Його основою є практична діяльність людей. Процес пізнання невіддільний від практики, відповідність між реальністю й нашими уявленнями про неї встановлюється не сама по собі, а у процесі взаємодії із середовищем. *Теорія – це узагальнення практичного досвіду.*

## 2.10 Декомпозиція і агрегування

Людині притаманне аналітичне мислення. Значення аналітичного методу полягає у тому, що складне ціле подумки розчленовується на малі складові, які осмислюються, і, будучи з'єднаними належним чином, ці частини знову утворюють єдине ціле.

Аналіз дозволяє досягнути високих результатів, якщо ціле вдається поділити на незалежні одна від одної частини, оскільки у цьому випадку їх окреме вивчення дозволяє скласти правильне уявлення про їх вклад у загальний ефект. Цей процес називається *декомпозицією*. Основною операцією аналізу є розподіл цілого на частини. Задача розпадається на підзадачі, система – на підсистеми, мета – на підцілі. За необхідності цей процес повторюється, що приводить до ієрархічних деревоподібних структур. Якщо доручити аналіз одного й того самого об'єкта різним експертам, то отримані деревоподібні списки будуть розрізнятися. Якість побудованих експертами дерев залежить як від їх компетентності у даній галузі знань, так і від методики, що застосовується для декомпозиції.

Прагнучи перейти від чисто евристичного, інтуїтивного підходу до більш усвідомленого, алгоритмічного виконання декомпозиції, ми повинні зрозуміти, чому експерт поділяє ціле саме так, а не інакше, і саме на таке, а не на більше або менше число частин. Пояснення полягає у тому, що на цю роботу

впливають поставлені цілі, ресурси, наявні знання, повнота і простота відображення.

Однак внесок окремої частини у загальносистемний ефект залежить від внесків інших частин. Якщо кожна частина буде функціонувати найкраще, то у цілому найвищий ефект не гарантований. Відібравши кращі у світі карбюратор, двигун, фари, колеса, ми не тільки не отримаємо найкращого автомобіля, але взагалі не зможемо скласти машину, оскільки деталі машин різних марок не з'єднуються. Тому кінцевою метою аналізу є встановлення причинно-наслідкових відношень між явищами, що розглядаються.

Момент об'єднання частин в єдине ціле (або *синтез*) є кінцевим етапом дослідження за допомогою систем, оскільки *лише після цього ми можемо пояснити ціле через його частини – у вигляді структури цілого.*

Можна дати рекомендації щодо здійснення всього процесу декомпозиції від початкової декомпозиції першого рівня до останнього завершального етапу.

Вимоги до дерева подібної структури, яка отримується у кінці роботи алгоритму, зводяться до двох суперечливих принципів (рис. 2.16): *повноти* (проблема повинна бути розглянута максимально всебічно і докладно) і *простоти* (все дерево повинне бути максимально компактним).

Ці принципи належать до кількісних характеристик дерева. Компроміси між ними впливають із якісної вимоги – головної



Рисунок 2.16 – Компроміси між повнотою й простотою

мети: звести складний об'єкт аналізу до кінцевої структури.

Принцип простоти вимагає скорочувати розміри дерева. Він примушує брати якомога більш компактні структури. Навпаки, принцип повноти змушує брати якомога більш розвинені, докладні структури. Компроміс досягається за допомогою поняття *істотної частини*: до структури вносяться лише компоненти, які істотно впливають на мету аналізу.

Це поняття неформальне, тому вирішення питання про те, що у цій структурі є істотним, а що – ні, покладається на експерта. Алгоритм декомпозиції поданий на рис. 2.17.

Може настати момент, коли експерт визнає, що його компетентності недостатньо для подальшого аналізу даного фрагмента і що необхідно звернутися до експерта іншої кваліфікації. Саме визначення того, що ми не знаємо, може бути не менш важливим, ніж саме знання.



Рисунок 2.17 – Алгоритм декомпозиції

Однак якщо у науці *складність через нерозуміння* розцінюється як тимчасове явище, то в управлінні це неприйнятний варіант, оскільки виникають затримки із прийняттям рішення. Тому в управлінні нерідко застосовують інтуїтивні та вольові рішення. Вони не завжди дають позитивні результати і необхідно підвищувати роль наукових методів в управлінні.

Якщо розглядати *складність як непоінформованість*, то повне переведення складного у просте можливе при підвищенні кількості інформації.

Визначення причин складності одразу її не ліквідує, але дозволяє визначити, яких саме відомостей нам не вистачає. Тому системний аналіз не дає нових знань, а лише організовує наявні, виявляє можливу нестачу знань у цій структурі. Розуміння того, чого не вистачає, також є новим знанням. Новими якостями володіють і по-іншому скомбіновані фрагменти старих знань.

Операція, протилежна декомпозиції, є операцією *агрегативання*, тобто об'єднання елементів у єдине ціле. У всіх агрегатів (так називають результат агрегативання, наприклад, агрегатний верстат) є одна загальна властивість, що називається *емерджентністю*.

Ця властивість притаманна усім системам. Будучи об'єднаними, елементи, які взаємодіють, утворюють систему, яка має не лише зовнішню, але і внутрішню цілісність. Структура підкреслює головним чином зв'язки елементів, їх взаємодію. При об'єднанні частин у ціле виникає щось якісно нове, таке, чого не було і не могло бути без цього об'єднання.

Нехай є три кольори: жовтий, зелений і червоний. Якщо з'єднувати їх відповідним чином, то одержимо гаму кольорів. В отриманій системі виявиться нова властивість. Така «раптова» *поява нових якостей у систем при об'єднанні елементів і є емерджентністю*. Нові властивості з'являються завдяки конкретним зв'язкам між конкретними елементами. Інші зв'язки дадуть інші властивості. Отже, емерджентність – це результат агрегативання.

У найзагальнішому вигляді агрегативання можна визначити як встановлення відношень на заданій множині елементів.

Як і моделі, системи можна поділити на пізнавальні та прагматичні. При виявленні структури *пізнавальної системи* вона формується у вигляді мережі, матриці, дерева. Структура залежить від цілей системи і методів її відображення. Однією з найважливіших є проблема визначення, до якого класу належить



кожний конкретний елемент. Встановлення відношення дозволяє говорити не тільки про кожний елемент окремо, але і про систему у цілому. *Метою агрегування пізнавальної системи є створення на етапах аналізу і синтезу структури.* У багатьох практичних випадках побудова відповідного дерева виявляється ключовим моментом системного аналізу. Наприклад, дерево цілей і ієрархічне дерево організаційних систем (які мають структури розподілу влади, розподілу відповідальності і розподілу інформації) використовуються для з'ясування походження виниклої проблеми; для побудови кількісних моделей системи; для вирішення таких завдань управління, як розподіл ресурсів і розроблення стимулів та ін.

Створена у результаті вивчення система повинна мати структуру, яка відповідає її цілям. Розібрані для вивчення деталі автомобіля необхідно так з'єднати між собою, щоб автомобіль знову поїхав, живий організм можна розчленовувати тільки подумки або на підставі повноти знань (пересаджування органів). Таким чином, синтез неможливий без аналізу, пояснення функцій та взаємодії частин. *Отже, системний аналіз – це створення і дослідження систем для розширення знань про об'єкти, які вони відображають.*

Складові системного аналізу можна ще визначити і як *дискретизацію, аналіз, синтез.* По суті, це просто інша мовна модель процесу системного аналізу. Як і попередня, вона означає вивчення цілого через його частини. При цьому не повинна порушуватися цілісність системи. Таким чином, виконуючи декомпозицію, ми розділяємо об'єкт на складові частини і вивчаємо (аналізуємо) окремо кожну з них, оскільки вони взаємодіють між собою. А це уже дозволяє остаточно скласти уявлення про структуру системи, тобто мати її агрегат. При цьому декомпозиція і агрегування відбуваються не послідовно, а виконуються одночасно, контролюючи одна одну. Якщо ми вже розчленували ціле на частини, то так, щоб якнайкраще їх зрозуміти при об'єднанні, оскільки нас цікавить функціонування об'єкта у цілому.

Ми можемо створити, визначити, нав'язати структуру системі, що проектується, тобто створити *прагматичну систему*.

Складне явище розглядається з різних точок зору. У реальному житті не буває проблем чисто фізичних, хімічних, економічних, суспільних або навіть системних – ці терміни визначають не саму проблему, а вибрану точку зору на неї. При агрегуванні прагматичної системи існує певний первинний агрегат (система різних мов опису, правил, законів, визначень, стандартів, порядку розподілу інформації та ін.), який спрямовує формування структури системи. Ф. І. Перегудов і Ф. П. Тарасенко називають його *конфігуратором* [27]. Поняття конфігуратора припускає, що певна сукупність точок зору і мов дозволяє описати систему і проблему.

Проектування організаційних систем показує, що конфігуратор складається з опису розподілу влади (структура підпорядкованості), розподілу відповідальності (структура функціонування) і розподілу інформації (структура зв'язку і пам'яті системи, накопичення досвіду, навчання, історії). Усі три структури зв'язують одні й ті самі частини системи. Прикладом може бути стандарт ISO 9000 з розроблення системи управління якістю на підприємстві.

Якщо це не абстрактна, а реальна система, то в ній цілком реально (незалежно від нашого бажання) можуть виникнути не тільки ті зв'язки, які ми спроектували, але й безліч інших, не передбачених нами. Тому при проектуванні системи важливо задати її структури в усіх істотних відношеннях, оскільки в інших відношеннях структури складуться самі, стихійним чином. Сукупність усіх істотних відношень визначається конфігуратором системи, звідси впливає, що проект будь-якої системи повинен містити розроблення стількох структур, скільки мов містить її конфігуратор.

Отже, *метою агрегування прагматичної системи є створення об'єкта за розробленою структурою*. Наприклад, процес складання машин.

На практиці поширення системного підходу фахівці, які працюють на керівних господарських посадах, ставляться до нього з упередженістю. Вважають, що системний підхід – не що інше, як здоровий глузд. При цьому не враховується відмінність між природним, інтуїтивним рівнем системності будь-якої діяльності і більш високим рівнем свідомої, науково вираженої системності. Те, чого вдається досягнути обдарований і з великим практичним досвідом людині, може зробити звичайна людина, керуючись науковим системним підходом до проблеми.

### ***Контрольні запитання***

1. Що таке «чорна скринька»?
2. Що таке вхід і вихід системи?
3. Що таке елементи і підсистеми?
4. Як виникає ієрархія цілей?
5. Що таке структура системи?
6. Як визначити систему через поняття структури?
7. Що таке спрощена схема системи?
8. Яка різниця між поняттями «модель» і «система»?
9. Для чого необхідна класифікація систем?
10. Що означає замкненість і відкритість системи?
11. Що таке стохастичний процес?
12. Що таке атрактор дисипативної системи?
13. Що таке декомпозиція?
14. Для чого використовують синтез у системному аналізі?
15. Як досягнути компромісу між повнотою і простотою системи?
16. Що таке агрегат?
17. Що таке емерджентність?
18. Яка мета агрегування пізнавальної системи?
19. Що таке конфігуратор?
20. З якою метою виконують агрегування прагматичної системи?
21. Що таке теорія систем?
22. Що таке системний аналіз?
23. Як можна класифікувати методи системного аналізу за ступенем формалізації?
24. Що таке алгоритмічність діяльності?
25. Яка природна межа механізації праці?
26. Що таке автоматизація і що її обмежує?
27. Що таке кібернетика?
28. Що таке інтелект?
29. У чому полягає суть аналізу?

30. Як відбувається синтез загальнолюдських знань?
31. Що таке теорія?
32. Як система співвідноситься з метою?
33. Що таке мета?
34. Яке відношення має система до об'єктивного оточення?

### ***Темі рефератів***

1. Система і об'єктивна дійсність [9], [27], [33].
2. Будова систем та їх графічне зображення [27], [32].
3. Класифікації систем [20], [27].
4. Проблеми людини при підвищенні продуктивності праці [17], [27].
5. Сутність пізнавального процесу [8], [18], [23].
6. Основні принципи агрегування прагматичної системи [15], [22], [28].
7. Проблема компромісу між повнотою і простотою системи [8], [27].

*Розділ 3*  
**КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ**

---

### 3.1 Системи і об'єкти

Одна із основних ознак системи полягає в її структурованості, у доцільності зв'язків між її елементами. Це зрозуміло і очевидно, коли йдеться про системи, створені людиною. Але виникає багато питань, коли мова стосується реальних природних об'єктів. Для досягнення яких цілей функціонують живі організми, хто ці цілі поставив?

Доцільність природи можна пояснити існуванням деякого надлюдського розуму. Але можна також стверджувати, що ми самі із нескінченного хаосу вибираємо і закріплюємо за докільням якісь (зовсім не притаманні йому) цілі.

Ця невизначеність легко вирішується, якщо згадати, що система – це створений людиною інструмент для пізнання світу, що система – це суб'єктивне відображення об'єктивної дійсності (табл. 3.1). Можлива класифікація систем за їх призначенням – вони відображають штучні, природні, змішані об'єкти.

Таблиця 3.1– Системне відображення об'єктів

<b>Система</b>		
Об'єкт		
природний (ліс, океан, атмосфера, ...)	штучний (машина, прилад, літак, ...)	змішаний (сільське господарство, підприємство, ...)

Тобто *системи завжди є штучними витворами*. Системи, що відображають природні об'єкти, створені людиною за цілями нею ж і поставленими. Людство в оточенні нескінченності, тобто хаосу. Цими питаннями займається філософія. Можна лише визначити, що таке діалектика, але не можна збагнути

неосяжного. Тому використовується обмежене поняття діалектики або прикладна діалектика – системний аналіз.

Показовою є аналогія дослідження нескінченності через кінцеві знання у математиці. В теорії ймовірності є таке поняття, як математичне сподівання. Воно може бути визначене лише у результаті нескінченного числа операцій  $n$  (дослідів, вимірювань). Математичне сподівання безперервної ймовірної величини – це визначений інтеграл від добутку щільності ймовірності  $\varphi(x)$  і дійсної змінної  $x$ , взятий у межах від  $-\infty$  до  $+\infty$ :

$$M\{x\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x\varphi(x) dx.$$

Але ж сутність цього поняття відповідає середньому арифметичному, яким дуже часто користуються при розв'язанні практичних задач,  $M\{x\} \approx \bar{x}$ .

Середня арифметична величина визначається за формулою

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Ще один приклад наведемо стосовно лісу. При розбудові нового міста частина лісу збережена з метою, визначеною проектувальниками. І ця частина лісу належить до системи «місто». Якомусь підприємству відведена нова ділянка лісу для вирубування. З цього моменту така ділянка стає елементом системи «підприємство».

Ліс не має мети прикрасити місто або сприяти підприємству виконати план з постачання деревини. Ліс має лише властивості, знання і використання яких дасть можливість усім цим системам досягнути своїх цілей. У лісу є ще дуже багато (нескінченно багато!) властивостей, які, будучи пізнаними, потенційно можуть бути використані для створення інших систем. Подібне міркування стосується будь-якого об'єкта. Тому не потрібно плутати справді об'єктивні властивості природи і конкретні знання про них на сучасному етапі.

Можуть існувати системи з невідомими нам метою і структурою (деякий прилад, призначення якого невідоме). Тоді виникає завдання вивчення цих систем. А може виникнути завдання створення системи для дослідження якогось явища. Закони природи, які забороняли б створення штучного інтелекту невідомі. Тому на сучасному рівні знань досягнення цієї мети не виключене, але і не гарантоване.

Використання спеціальних засобів для аналізу систем – одна з актуальних проблем усієї теорії систем. Ряд таких засобів вже створений, інші ще тільки розробляються і удосконалюються, треті ще чекають своїх творців.

Оскільки такі засоби вже є, то чому б не застосувати їх до дослідження складних об'єктів як існуючих незалежно від людини, так і створених самими людьми? Можна вивчати рослини як системи, нервову або серцево-судинну системи людини, систему керівництва підприємством та ін. Такий підхід практично корисний і немає підстав відмовлятися від нього.

Поняття мети спільне для системи штучного об'єкта і для системи природного об'єкта. Мета системи була визначена як суб'єктивний ідеальний образ бажаного результату її функціонування. Тепер уявімо собі, що минув термін, який був відведений для реалізації мети, і система опинилася у деякому реалізованому стані. У цей стан система прийшла об'єктивно у результаті реалізації об'єктивних закономірностей. Іншими словами, ми *можемо розглядати суб'єктивну мету і об'єктивний стан при її реалізації.*

### 3.2 Великі та складні системи

Терміни «велика» і «складна» система остаточно ще не визначилися. Їх використовують як синоніми, дехто вважає, що різниця між ними кількісна, або пов'язує складність із деякими особливостями самих систем. Але якщо можливі такі словосполучення, як: мала і проста система, велика, але проста система, мала і складна система, велика і складна система, – то це поняття різні. Характеристика складності досить суб'єктивна.

Єдиною специфічною особливістю складних систем є те, що наше знання про них обмежене. Кодовий замок простий для того, хто знає код, кожній людині іноземна мова уявляється більш складною, ніж рідна. Щоб система із складної перетворилася на просту, необхідно з'ясувати конкретну причину складності, отримати про неї додаткову інформацію.

*Складною є така система, про яку не вистачає інформації.* Можна, якщо це ефективно і можливо, змінити мету системи. Поки що єдиної кількісної міри складності визначити не вдалося і навряд чи вдасться, зважаючи на суб'єктивність цього поняття.

Наявність тієї чи іншої кількості елементів та зав'язків характеризує систему з точки зору велика вона чи мала. І ця характеристика досить суб'єктивна. Якщо систему усіх країн із їх столицями для пересічної людини вважати великою, то для того, хто все це пам'ятає і вільно з ними оперує, вона є малою.

### 3.3 Інформація і її невизначеність

Сучасне розуміння того, що таке інформація і яку роль вона виконує у штучних і природних системах, склалося не відразу. Вона являє собою сукупність знань, отриманих різними науками.

Хоча фізика намагається вивчати явища природи у максимально об'єктивній формі, їй не вдалося повністю виключити «людський чинник». По-перше, при експериментальному дослідженні фізичних явищ неможливо обійтися без вимірювання ряду величин, і наявність цих величин у теоретичних моделях рано чи пізно вимагає спеціального розгляду того, як саме виконуються вимірювання. Отже, без впливу людини не відбуваються навіть автоматичні експерименти. По-друге, поведінка технічних приладів свідчить про те, що і там є сліди людської діяльності. І ця діяльність не завжди відбувається при повному розумінні усіх процесів.

Виявилося, що без спеціального поняття ентропії неможливо дати вичерпного опису впливу людини на



взаємодію із середовищем. Ентропія характеризує нестачу інформації. Ентропія – це міра невизначеності.

### 3.4 Випадкові процеси

Необхідність моделювання різноманітних сигналів призводить до побудови окремих моделей випадкових процесів. Розрізняють безперервні і дискретні у часі процеси. Випадковий процес *із безперервним часом* характеризується тим, що його реалізація визначається для усіх моментів  $t$  із деякого інтервалу  $T$ . *Дискретний за часом* процес задається на дискретній множині точок осі часу.

Безперервні і дискретні за інформативним параметром процеси розрізняються залежно від того, з якої (безперервної або дискретної) множини набуває значення реалізація випадкової величини  $X$ .

Є процеси стаціонарні і нестаціонарні. Так називаються процеси залежно від постійності або змінності їх статичних характеристик. Випадковий процес називається *стаціонарним у вузькому сенсі*, якщо для будь-якого інтервалу розподіл ймовірностей із часом не змінюється.

Для розгляду конкретних властивостей систем буває необхідним врахувати особливості сигналів, що циркулюють каналами зв'язку цих систем. Такі особливості можна описати по-різному: просто перелічити можливі реалізації або задати у тій або іншій формі загальні властивості реалізацій, що входять в «ансамбль».

Довівши, що випадкові процеси є адекватною моделлю сигналів, ми одержуємо можливість скористатися результатами і потужним апаратом теорії випадкових процесів. Крім того, виявивши, що деякі типи безперервних сигналів припускають дискретне подання, ми спрощуємо завдання, зводячи все до розгляду випадкових величин.

Це не означає, що теорія ймовірностей і теорія випадкових процесів дадуть готові відповіді на усі запитання про сигнали: підхід із нових позицій висуває такі питання, які раніше просто

не виникали. Теорія інформації [27] також розглядає сигнальну специфіку випадкових процесів. При цьому були введені принципово нові поняття і отримані нові результати.

Першим специфічним поняттям теорії інформації є поняття невизначеності випадкового процесу, для якого вдалося ввести кількісну міру, названу *ентронією*. Нехай деяка подія може відбутися з імовірністю 0,99 і не відбуватися з імовірністю 0,01, а інша подія має імовірності відповідно 0,5 і 0,5. Очевидно, що у першому випадку настання події є «майже забезпеченим», у другому ж випадку від прогнозу краще утриматися.

Зміна внутрішньої енергії термодинамічної системи різання відбувається за рахунок механічної роботи зовнішніх сил і за рахунок тепла, що надходить [6]:

$$dU = dQ + dA. \quad (3.1)$$

Вона дорівнює алгебраїчній сумі зовнішніх впливів. У виразі (3.1) перед приростом кількості теплоти  $dQ$  стоїть знак плюс через припущення, що тепло буде надходити у систему, а знак плюс перед приростом механічної роботи  $dA$  означає, що ця робота виконується зовнішнім оточенням над системою.

Для свого існування процес різання споживає механічну енергію, яка передається йому при виконанні роботи зовнішніми силами. Теплова енергія, що утворилася, рухається з областей виникнення не цілеспрямовано, а хаотично.

Перетворення механічної енергії у теплову можна розглядати як своєрідне акумулювання внутрішньої енергії. При поточному положенні зони різання на поверхні заготовки її загальний енергетичний рівень складається з роботи, що виконується зовнішніми силами, і тепла, яке надходить з області попереднього положення зони різання. Потужність такого «акумулятора» для зони руйнування залежить від швидкостей руху стружки, леза і заготовки, від їхніх розмірів і теплопровідності. Усі джерела тепла, що утворюються у зоні різання, є згасаючими.

Для аналізу внеску у формування внутрішньої енергії у зоні різання тепла, що утворилося, необхідно розглянути переміщення теплової енергії по лезу, стружці і заготовці.

Це тверді тіла, тому тепло з областей утворення рухається за рахунок теплопровідності і перенесення. Переміщення і накопичування тепла впливає на формування внутрішньої енергії безпосередньо ( $dQ$  у формулі (3.1)). При цьому змінюється і доданок механічної роботи, оскільки розігрівання елементів системи змінює їх механічні властивості.

Координати вектора стану системи, які змінюються при зміні певного виду енергії, називаються координатами термодинамічного стану. Функція  $E$  – ентропія, зміна якої пов'язана з кількістю енергії, що передається у формі тепла, виконує роль координати термічного стану системи. Зміну тепла в урівноваженому процесі (а таким може вважатися процес теплопровідності у лезі) можна подати у вигляді добутку температури на зміну координати термічного стану

$$dQ = D \cdot dE. \quad (3.2)$$

При різанні температури в елементах системи різання і у навколишньому середовищі значно відрізняються. Тому тут спостерігається неврівноважений термодинамічний процес, і повний опис його засобами термодинаміки неможливий. Однак при постійно діючих теплових джерелах на поверхнях леза і постійній тепловіддачі у навколишнє середовище у тілі леза встановлюється близьке до стаціонарного поле температур. Можна вважати, що у будь-якій точці тіла значення температури не залежить від часу. Тому щодо системи різання цілком припустимо застосовувати положення термодинаміки. Ступінь розігрятості (температура у будь-якій точці тіла) залежить від положення цієї точки щодо джерела тепла і від часу:

$$D = f(x, y, z, \tau). \quad (3.3)$$

Оскільки ступінь розігрятості характеризує внутрішню енергію тіла, то і вимірюється вона у тих самих одиницях – у джоулях. Перехід від джоулів до градусів здійснюється за допомогою сталої Больцмана  $k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$  Дж/К,  $\theta^\circ = D/k$ .

Враховуючи (3.2) і (3.3), вираз (3.1) можна записати як

$$dU = k \cdot \theta(x, y, z, \tau) \cdot dE + dA.$$

Тому зміна внутрішньої енергії у термодинамічній системі пов'язана з мірою невизначеності, з ентропією. Для зниження цієї невизначеності важливе значення має аналіз розподілу тепла в елементах. При цьому необхідно враховувати, що енергія руйнування формується і за рахунок тепла, яке надходить у матеріал заготовки. Але рух тепла через елементи системи різання змінює їх механічні властивості, що потім впливає на величину роботи зовнішніх сил  $A = \int dA$ .

Отже, ентропія – це міра невизначеності випадкового процесу з кінцевою множиною можливих станів. Ентропія має такі властивості:

- усі реалізації високоїмовірної групи приблизно рівномірні;
- ентропія з високою точністю дорівнює логарифму числа реалізацій у високоїмовірній групі;
- високоїмовірна група, я правило, охоплює лише незначну частину усіх можливих реалізацій.

Для характеристики розпливчастості розподілу використовується також поняття дисперсії. Це сума квадратів відхилень значень випадкової величини від її середнього арифметичного значення, поділена на  $n-1$  ( $n$  – кількість вимірювань):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}.$$

Однак ця величина має значення лише для випадкових числових величин і не може застосовуватися до випадкових об'єктів, стани яких розрізняються якісно, хоча і у цьому випадку можна говорити про більшу або меншу невизначеність кінця експерименту. Отже, міра невизначеності, пов'язаної з розподілом, повинна бути деякою його чисельною характеристикою, функціоналом від розподілу, ніяк не пов'язаним із тим, за якою шкалою вимірюються реалізації випадкового об'єкта.

### 3.5 Кількість інформації

В основу всієї теорії інформації покладено відкриття, що *інформація припускає кількісну оцінку*. У найпростішій формі ця ідея була висунута ще у 1928 р. Хартлі, але завершеного вигляду надав їй Шеннон у 1948 р. [27]. Сучасне тлумачення цього твердження таке: *процес отримання інформації можна інтерпретувати як зміну невизначеності у результаті прийняття сигналу*. Кількість інформації – міра знятої невизначеності.

Наприклад, передача сигналу відбувається за таких умов:

- корисний сигнал, що посиляється, є послідовністю статистичних незалежних символів;
- сигнал, що приймається, є послідовністю символів того самого алфавіту;
- якщо шуми (викривлення) відсутні, то сигнал, що приймається, збігається з тим, що посиляється;
- якщо шум є, то даний символ може залишитися колишнім або бути підмінений на інший символ;
- викривлення чергового символу є подією, незалежною від того, що відбулося із попередніми символами.

У цих умовах ентропія процесу є ентропією одного символу. Отже, до отримання чергового символу ситуація характеризується невизначеністю того, що символ буде відправлений (апріорна ентропія). Після отримання символу з'являється невизначеність того, що відправлений символ не змінився (апостеріорна ентропія). Визначимо тепер кількість інформації як міру знятої невизначеності: *числове значення кількості інформації про деякий об'єкт дорівнює різниці апріорної та апостеріорної ентропії цього сигналу*.

Відзначимо, що найбільш важливі результати теорії інформації (теореми про кодування) мають асимптотичний характер, тобто є конструктивними. Однак уже саме знання потенційних можливостей має велике значення. Порівняння характеристик реальних систем із теоретичними межами

дозволяє робити висновки про досягнений рівень і про доцільність подальших витрат на його підвищення.

Значення теорії інформації виходить за рамки теорії зв'язку, сприяє більш глибокому розумінню відкритих раніше закономірностей природи (наприклад, другого закону термодинаміки) і увійшло до числа філософських категорій, поширивши і поглибивши завдяки цьому наше бачення і розуміння світу.

Кількість інформації є лише однією характеристикою інформаційних відношень. Саме вона відіграє головну роль у технічних приладах. Однак є ще такі властивості інформації, як сенс, доброякісність, цінність, корисність, старіння, причинно-наслідкове спрямування та ін. – властивості, надто істотні для інформаційних відношень з участю живих організмів, людей, колективів. Дослідження проблем використання інформації ведеться у різноманітних напрямках. Масштаби і значення інформаційних потоків у сучасному суспільстві різко зросли. Цій суспільній потребі відповідає виникнення нової галузі науки – інформатики. Системний аналіз неминуче виходить на дослідження ресурсів, необхідних для вирішення проблеми. Інформаційні ресурси мають таке ж важливе значення, як і матеріальні, енергетичні, часові, кадрові.

Розглянемо систему автоматизованого проектування (САПР), організаційно-технічну систему, яка складається з комплексу засобів автоматизації проектування, який взаємодіє з підрозділами проектної організації і здійснює автоматизоване проектування.

Комплекс засобів являє собою технічне забезпечення, математичне забезпечення, програмне забезпечення, *інформаційне забезпечення*, лінгвістичне забезпечення, методичне забезпечення, організаційне забезпечення. Найважливішим серед них є інформаційне забезпечення. Його призначення полягає у тому, щоб надавати відомості у вигляді вхідних даних для виконання передбачених операцій та процедур. Інформаційне забезпечення постачає довідкові дані й типові рішення, здатні поповнюватися новими записами.

Необхідно виключити дублювання робіт – перед проектуванням об'єкта необхідно переконатися у відсутності стандартного або раніше виконаного аналога. Це вимагає зв'язку САПР із зовнішньою інформаційно-пошуковою системою, що зберігає і розподіляє стандартні й нові об'єкти. Проектований об'єкт як частина системи вищого рівня жорстко регламентований стандартами за габаритними і приєднувальними розмірами, матеріалами і вимогами до якості поверхні і т. ін. Тому без розвиненого інформаційного забезпечення проектування можливе лише у примітивному діалоговому режимі, коли введення довідкових даних здійснює користувач.

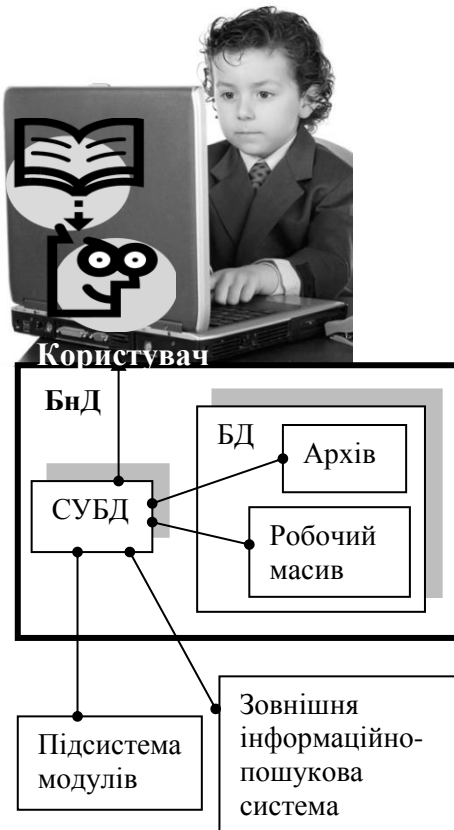


Рисунок 3.1 – Інформаційне забезпечення САПР

Основою інформаційного забезпечення (рис. 3.1) є банк даних (БнД), що складається з бази даних (БД) і системи управління базою даних (СУБД).

База даних має 2 рівні – верхній і нижній. Верхній рівень ієрархії проектування являє собою набір відомих типових конструкторських рішень або масиви описів стандартних компонентів. Ці дані, закодовані певним чином, складають інформацію БД верхнього рівня проектування.

Для розроблення БД верхнього рівня проектування необхідно відібрати і систематизувати типові конструктивні рішення; здійснити класифікацію

конструктивних елементів; виділити конструктивно однорідні групи (КОГ) і здійснити їх уніфікацію за конструктивними та параметричними ознаками; визначити, яких КОГ не вистачає; побудувати типорозмірні ряди КОГ і їх елементів, об'єднавши у таблиці основні характеристики; виконати кодування КОГ, стандартних та уніфікованих елементів. Нижній рівень ієрархії проектування складається з масивів математичних моделей характеристик елементів та їх взаємодій.

Зазвичай дані, що зберігаються в БД САПР, поділяються ще і на архів та робочий масив. Архів – довідкові дані, процеси, матеріали, відомості зі стандартів. Робочий масив містить результати проектування конкретних об'єктів на попередніх етапах.

Обмін інформацією в САПР здійснюється через інформаційні потоки:

- «користувач – СУБД» – для роботи із САПР або для запису та коригування інформації;
- «зовнішня інформаційно-пошукова система – СУБД» – для передачі нової інформації в САПР;
- «СУБД – підсистема модулів» – для інформаційного зв'язку з прикладними програмами.

### 3.6 Типи і засоби керування системами

Можна будувати різні класифікації систем відповідно до розміщення засобів керування і методів його здійснення. Засоби керування поділяються на такі, коли керуючий блок входить до системи, і такі, коли він є зовнішнім щодо неї. Управління буває розподілене – частково здійснюється зовні, а частково – усередині самої системи.

Незалежно від того, включений до системи керуючий блок чи винесений з неї, можна виділити чотири основних типи засобів управління. Вони розрізняються за ступенем відомостей про траєкторію руху системи до мети і по можливості утримувати систему на цій траєкторії.



Перший (найпростіший) випадок має місце тоді, коли потрібна траєкторія відома точно, а, отже, апіорі відоме і правильне керування  $u_0(\tau)$ . У такому випадку це керування можна здійснювати, незважаючи на розвиток подій, адже і так наперед усе відомо. Постріл із рушниці, робота ЕОМ за програмою, користування телефоном-автоматом є прикладами такої ситуації. Таке керування  $u_0(\tau)$  *без зворотного зв'язку* (лише за апіорною інформацією) приводить до досягнення мети лише тоді, коли все буде відбуватися саме так, як визначає задана траєкторія:

$$T = (x_0(\tau) = \{u_0(\tau), v_0(\tau)\}, y_0(\tau)).$$

Найчастіше виявляється, що процеси на некерованих входах  $v_0(\tau)$  відрізняються від передбачуваних, або істотним виявляється вплив невідомих входів, і система відхиляється від потрібної траєкторії. Нехай є можливість спостерігати поточну траєкторію  $y(\tau)$ , знаходити різницю  $y(\tau) - y_0(\tau)$  і визначати додаткове до програмного керування, яке у найближчому майбутньому поверне виходи системи на потрібну траєкторію. Такий метод керування називається *регулюванням*. Це дії робітника при керуванні верстатом, регулятор Уатта, автопілот

Наступний метод виникає у зв'язку з необхідністю керування в умовах, коли або неможливо задати опорну програмну траєкторію на весь період часу або відхилення від неї настільки велике, що неможливо повернутися на неї. Тому необхідно спрогнозувати поточну траєкторію  $y(\tau)$  і визначити, перетне вона чи ні цільову область  $Y$ . Керування полягає у *настроюванні параметрів* системи до того часу, поки такий перетин не буде забезпечений. Прикладами такого керування є процеси пристосування живих організмів до змінних умов життя, робота пілотів та водіїв, адаптивні й автоматизовані системи керування.

Іноколи може виявитися, що траєкторія керованої системи ніколи не перетне цільової області. Це означає, що мета для цієї системи недосяжна. Але, можливо, вона досяжна для іншої системи? Це ще один метод керування: змінювати структуру системи у пошуках такої, за якої можливе влучання у цільову

область. Ці нові системи створюються не цілком довільно, а відповідно до наявних ресурсів. Таке керування називається *структурною адаптацією*. Прикладами реалізації означеного керування є гнучкі автоматизовані виробництва, обчислювальні мережі, сільськогосподарські машини зі змінними навісними та причіпними знаряддями, мутації організмів у процесі природного відбору, зміни в управлінні підприємством. Отже, методи керування також можна відобразити як систему і досліджувати їх за допомогою системного аналізу. Це системи впливу на інші системи. Поширеними на підприємствах і в організаціях стали системи управління якістю. Така система повинна відповідати вимогам стандарту ISO, що підтверджується відповідним сертифікатом.

### 3.7 Якість системи і ресурси керування

Керування системою  $u_0(\tau)$  знаходять за допомогою відбору серед можливих керувань та порівняння за якимись критеріями наслідків застосування кожного з них. Визначити ці наслідки і порівняти їх іноді буває набагато краще на спрощеній системі. Систему потрібно не лише втілити в якомусь реальному вигляді, але й забезпечити, щоб вона дозволяла одержувати рішення потрібної якості і до потрібного моменту часу (рішення стає непотрібним, якщо воно з'являється пізніше, ніж це необхідно).

Матеріальні об'єкти, з яких складається конкретна система, називають ресурсами. Наявні ресурси не завжди дозволяють забезпечити повне виконання цих умов. Бувають принципово різні ситуації залежно від того, наскільки забезпечене управління ресурсами. Енергетичні витрати на дослідження керування на моделі системи звичайно настільки малі, що на них просто не зважають. Однак можливі випадки, коли модель споживає стільки ж енергії, як і досліджувана система (наприклад, дублери космічних апаратів).

Тому рівні спрощеності системи і повноти відображення об'єктів визначаються згідно зі стандартним визначенням якості – здатністю задовольняти вимоги споживача. Це і є

оцінка якості системи. Якість системи забезпечена, якщо за мінімальних витрат ресурсів вона дозволяє досягнути поставленої мети.

### 3.8 Керування виробництвом продукції

Будь-яку компанію можна розглядати як складну систему. Ця система, або відповідно до визначення Т. Конті [7] «організаційна архітектура», охоплює формальну структуру, визначення методів роботи, неформальну організаційну структуру, методи і стилі менеджменту, що дозволяють організації функціонувати як соціальний організм і колектив людей, об'єднаних загальними цілями, та означає, що компанія організовує свої зусилля. Це погляд на організацію як на динамічну соціально-технічну систему, що взаємодіє із середовищем, у якому вона працює. У подібній системі взаємини між людьми, організаційними підсистемами і процесами мають однаково важливе значення (у цьому полягає цілісність системи).

Структура компанії складається із множин елементів та взаємодій, які відповідно називають системними факторами й процесами (рис. 3.2). Системні фактори є важливими або для здійснення місій та досягнення пов'язаних із ними цілей, або для покращання результатів, коли вони незадовільні чи мають потребу у покращанні.

Основні системні фактори такі: лідерство – «мотор» для руху організації до намічених цілей; стратегії та плани; людські ресурси; організаційні архітектури підрозділів; технічні, фінансові та інформаційні ресурси. Фактично – *це сукупності підсистем та елементів*, на які при системному підході можна розподілити компанію. Відомо, що елементи, які належать до однієї системи, можуть бути матеріальними і нематеріальними, мати різну розмірність.

Усі результати досягаються за рахунок процесів. Їхня ефективність, дієвість та гнучкість у досягненні цілей залежать від широкого кола факторів, що утворюють систему компанії.

Категорія «процеси» поєднує конкретні види робіт, виходами яких є результати, що відповідають цільовій ієрархії. *Процеси – це взаємодії між елементами та підсистемами.* Процеси являють собою сферу, де самі роботи і послідовні результати цих робіт можуть бути вимірними.



Рисунок 3.2 – Структура компанії

Оскільки компанія може оцінити себе лише через процеси (а можливо, і через продукти, які є результатами цих процесів), вимірювання процесів необхідне, щоб прогнозувати якість результатів і не викликати незадоволеність споживача та зацікавлених груп.

Здатність пристосуватися безпосередньо пов'язана з динамічною корпоративною культурою і здатністю до безупинного навчання. Організація повинна вміти сприймати і передавати керівництву ідеї та пропозиції від кожного працівника компанії. У свою чергу, вище керівництво повинно

бути відкритим до сприйняття ідей, заохочувати внутрішнє обговорення та використовувати отримані при цьому висновки як основу для систематичного критичного аналізу стратегії компанії. Тому необхідна самооцінка діяльності.

Мета самооцінки – зібрати вихідні дані для планування покращень (зворотний зв'язок), які дозволяють привести у відповідність можливості компанії з її поточними завданнями, цілями і стратегіями. Самооцінка являє собою оцінки та висновки, зроблені експертами, результати інтерв'ювання чи опитувань працівників щодо критеріїв або моделей поведінки, що повинні бути чітко визначені (внутрішній аудит).

Отже, можна сказати, що керуючий блок знаходиться у середині компанії. До такої складної структури застосовуються усі чотири основні типи методів керування: без зворотного зв'язку, регулювання, налаштування параметрів, структурної адаптації.

### ***Контрольні запитання***

- 1 Які об'єкти відображають системи?
- 2 Що таке прикладна діалектика?
- 3 Що таке складна система?
- 4 Як розміщуються засоби керування щодо системи?
- 5 Які є методи керування системами?
- 6 Що таке ресурси управління?
- 7 Як оцінити якість системи?
- 8 Що таке «організаційна структура» компанії?
- 9 Що означає термін «процес» у системі управління якістю?
- 10 Що таке самооцінка діяльності компанії та її призначення?
- 11 Які методи застосовуються при управлінні підприємством?
- 12 Що таке інформація?
- 13 Що таке ентропія?
- 14 Що таке стаціонарний процес?
- 15 Як можна інтерпретувати процес отримання інформації?
- 16 Які властивості інформації?
- 17 Що складає основу інформаційного забезпечення автоматизованих систем?

***Темі рефератів***

- 1 Системне відображення різних за природою об'єктів [1], [9], [27].
- 2 Методи керування системами [27], [30], [31].
- 3 Системний підхід до проблем управління підприємством [15], [22].
- 4 Основні властивості інформації [27], [32].
- 5 Наукове пізнання як процес зростання інформації [23], [24], [27].

**ЕТАПИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

---

---

**4.1 Формулювання проблеми та визначення об'єкта дослідження**

Формулювання задач, які необхідно розв'язати при науковому дослідженні, початковий, відправний етап роботи. Але йому передують визначення проблеми і цілей. Слово «проблема» перекладається з грецької як задача. Проте задача і проблема мають різний ступінь невизначеності. Задача розв'язується відомими методами, а проблема – це така задача, для якої немає відповідних методів розв'язання. Тому під час планування робіт, спрямованих на усунення проблеми, необхідно через визначення цілей перейти до списку задач, розв'язання яких і приведе до зняття проблеми. Серед задач є і такі, розв'язання яких створює методи взаємодії з проблемою.

Отже, перші кроки у системному аналізі пов'язані з формулюванням *проблеми*. Проте вхідне формулювання проблеми є лише деяким наближенням. Причина полягає у тому, що *проблемотвірна система* не є ані ізольованою, ані монолітною. Вона пов'язана з іншими системами і належить як частина до деякої надсистеми. І сама вона складається з частин, підсистем, по-різному причетних до даної проблеми.

Якщо це справді реальна проблема і необхідно послабити її гостроту, то необхідно враховувати, як це відіб'ється на тих, кого неминуче будуть стосуватися заплановані зміни.

Таким чином, до будь-якої реальної проблеми необхідно апіорі ставитися не як до окремо взятої, а як до комплексу взаємозв'язаних проблем. Використовуючи для визначення цієї сукупності термін *проблематика*, можна сказати, що етап формулювання проблеми полягає у визначенні проблематики.

Інша важлива причина того, щоб ставитися до першого формулювання проблеми не як до безумовної відправної точки подальшого аналізу, а як до початкового етапу, який сам

підлягає вивченню й уточненню, є той факт, що формулювання, що пропонується замовником, є його моделлю реальної проблемної ситуації. Звідси випливає, що необхідно враховувати не лише точку зору замовника, позиції інших зацікавлених сторін (що, як вже було зазначено, призводить до необхідності розширення проблеми до проблематики), але й те, що його модель, як і всяка модель, неминуче має цільовий характер, є приблизною, спрощеною. Тому необхідно перевіряти запропоноване формулювання на адекватність, що звичайно приводить до розвитку, доповнення, уточнення первинного варіанта опису проблеми.

Отже, системне дослідження всякої проблеми починається з її розширення до проблематики, тобто до знаходження системи проблем, істотно пов'язаних із тією, що досліджується, без урахування яких вона не може бути вирішена. Це розширення відбувається як «ушир», завдяки виявленню зв'язків проблемної системи з над- і підсистемами, так і «вглиб» у результаті деталізації вхідної проблеми.

Очевидно, що для розширення проблеми необхідно визначити над- і підсистеми щодо проблемотвірної системи. Для цього використовують зацікавлених осіб. До їх переліку рекомендується включати:

- клієнта, тобто того, хто ставить проблему, замовляє і сплачує системний аналіз;
- осіб, які приймають рішення, тобто тих, від повноважень яких безпосередньо залежить вирішення проблеми;
- учасників, як активних (тих, чії дії необхідні при вирішенні проблеми), так і пасивних (тих, на кому позитивно або негативно відіб'ються наслідки вирішення проблеми);
- самого системного аналітика та його співробітників.

До переліку зацікавлених осіб необхідно внести і тих, хто насправді не зацікавлений у вирішенні проблеми і буде протидіяти можливим змінам.

Кожна із зацікавлених сторін має своє бачення проблеми, відношення до неї. Її існування або вирішення призведе до появи їх власних проблем. Формулювання проблематики і



полягає в описі того, які зміни і чому хоче ввести кожна із зацікавлених осіб. Діалектичний метод пропонує розглядати проблему всебічно, зокрема і у часовому, і історичному плані.

Як б не була природа системи, що розглядається, її проблематика вміщує спектр проблем: від чітких, які допускають створення математичних оптимізаційних задач (добре структурованих, формалізованих, формальних) до проблем нечітких (слабко структурованих, неформалізованих), які висловлюються природною мовою.

Природно, що ці проблеми необхідно розглядати порізно, але на практиці системного аналізу спостерігається тенденція зводити усі проблеми до одного типу. Практика показує, що досліджувати нечітку проблему як жорстку оптимізаційну небезпечніше, ніж навпаки. Якщо у другому випадку ми лише частково відмовляємося від деякої корисної інформації, то у першому вносимо неправдиву інформацію, вводячи себе й інших в оману. Розрізняти чіткі і нечіткі проблеми у ході аналізу – одна з умов якісного аналізу.

Під скороченим визначенням *об'єкт* розуміють об'єктивно існуюче оточення, процес або явище, що створюють проблемну ситуацію.

Досить часто буває так, що вивчити весь об'єкт неможливо або заздалегідь відомо, що достатньо зрозуміти будову якоїсь його складової для повного уявлення про нього у цілому. Тоді необхідно визначити цей конкретний предмет вивчення. *Предмет* – та частина об'єкта, яка підлягає дослідженню.

#### 4.2 Виявлення мети

Як добре формалізовані, так і слабко структуровані проблеми повинні бути зведені до вигляду, коли вони стають задачами вибору відповідних методів для досягнення заданої мети.

Тому передусім необхідно визначити мету. На цьому етапі системного аналізу визначається, що треба зробити для зняття проблеми.

Основними труднощами виявлення мети є ті факти, що мета є немов би антиподом проблеми. Формулюючи проблему, ми говоримо в явній формі, що нам не подобається. Зробити це порівняно просто, оскільки те, чого ми не хочемо, існує. Говорячи про мету, ми намагаємося сформулювати, що ми хочемо. Ми немов би зазначаємо напрямок, за яким необхідно відходити від ситуації, що існує і не задовольняє нас. При цьому необхідно враховувати повноту знань про об'єкт, який створює проблемну ситуацію:

- що відомо точно;
- що зі ступенем невизначеності, який можна оцінити;
- що з невизначеністю, яка оцінюванню не підлягає;
- що може вважатися імовірним лише при виконанні певних умов;
- що відомо про те, що невідомо.

Нехай необхідно визначити мету досліджень системи (ще неіснуючої) для створення теоретичних передумов математичного моделювання процесу різання [38]. Раніше було зазначено, що математична модель базується на фізичній моделі. Але у галузі теорії різання поки що не закінчена робота зі створення повного уявлення про механізм стружкоутворення. І це не дозволяє ставити у повну відповідність фізичним процесам, що відбуваються у зоні різання, математичні вирази. Отже, усі неточності та припущення відбиваються на результатах розрахунків.

У зв'язку з цим відсутня надійна методика розрахунку стійкості різального інструменту. Тому переважають емпіричні засоби, виникають аварійні ситуації, що відбиваються на гнучкості виробництва, на якості й собівартості виробів.

Як було зазначено раніше, проблема полягає у рівні автоматизації технологічної підготовки виробництва. Однак жодна проблема не існує одноосібно. Вона пов'язана з іншими проблемами, базується на них (табл. 4.1). Усі разом вони утворюють комплекс взаємозв'язаних проблем – проблематику.

Таблиця 4.1 – Послідовність визначення мети дослідження

1	Проблема	Автоматизація технологічної підготовки виробництва (ресурсозбережні умови проектування технологічних процесів та обробки деталей машин)
2	Проблематика	Розрахунки стійкості інструменту; розрахунки параметрів режиму різання; розрахунки показників якості обробленої поверхні; створення адекватних математичних моделей
3	Мета	Удосконалення фізичних моделей явищ, що відбивають стружкоутворення, для створення адекватних математичних моделей

Серед них може бути основна. У даному випадку це відсутність адекватних математичних моделей процесів при різанні. Немає аналітичних засобів розрахунку стійкості інструменту, параметрів режиму різання, показників якості обробленої поверхні.

Якщо мета дослідження визначає, що потрібно зробити, щоб знизити або усунути проблемність ситуації, якщо це така бажана абстрактна модель стану теорії різання, який дозволить вирішити важливу наукову проблему підвищення точності й імовірності розрахунків, то її можна сформулювати таким чином: «Удосконалення фізичних моделей явищ, що відбивають стружкоутворення, для створення адекватних математичних моделей».

Далі формулюємо завдання дослідження. Для прикладу з проблемою у галузі різання металів (див. табл. 4.1) потрібно:

- систематизувати існуючі теоретичні уявлення про процес різання і скласти послідовність елементарних актів (механізм) процесу різання матеріалів, що враховує їх фізико-механічні властивості;
- дослідити умови формування критичного рівня внутрішньої енергії в інструментальному і оброблюваному матеріалах і

визначити комплексний показник, що обмежує існування процесу різання;

- проаналізувати взаємодії системи різання з найближчим оточенням, визначити критерії ефективності й умови оптимального управління системою різання;
- виконати синтез загальної теорії і математичне моделювання процесу різання при стабільному точінні;
- дати рекомендації щодо використання результатів дослідження, експериментально й порівняно з існуючими методиками довести їх працездатність.

Труднощі полягають у тому, що можливих напрямків багато, а вибрати потрібно лише один, справді правильний, а не такий, що тільки здається правильним. Відмінність між цілями не завжди очевидна, і існує небезпека помилково прийняти одні за інші.

Досвід системного аналізу показує, що спершу сформульовані цілі у ході виконання аналізу часто змінюються або скасовуються зовсім. Це викликане тим, що суб'єкт, цілі якого повинні бути виявлені, звичайно сам не може їх чітко усвідомити, навіть якщо і дасть їм чіткі формулювання. Дійсні цілі, як правило, ширші, ніж проголошені.

Дослідження цілей повинно передбачати можливість їх уточнення, розширення або навіть заміни. У цьому і полягає одна з основних причин ітеративності системного аналізу.

На вибір навіть конкретних, окремих цілей суб'єкта вирішальний вплив мають його загальна ідеологія, система цінностей, яких він дотримується. Одним із напрямків дослідження у ході виявлення мети може бути вивчення системи цінностей, якою володіють особи, які приймають рішення, та інші зацікавлені сторони.

Цілі застарівають, і інтенсивність цього процесу залежить від багатьох причин. Цілі більш високих рівнів ієрархії існують довше. Зміна мети з часом може відбуватися не лише через краще розуміння дійсних цілей, але і внаслідок зміни об'єктивних умов або суб'єктивних настанов, що впливають на її вибір.

### 4.3 Формування критеріїв

Критерій – це засіб порівняння альтернатив. Критерієм якості альтернативи може бути будь-яка її ознака. Після формування критерію з'являється можливість розв'язувати задачі вибору та оптимізації.

*Критерії можна розглядати як кількісні моделі якісних цілей.* Справді, сформовані критерії у подальшому у деякому сенсі замінюють мету. Від критеріїв вимагається якомога більша схожість із метою, щоб оптимізація за критеріями відповідала максимальному наближенню до мети.

З іншого боку, критерії не можуть повністю збігатися з метою. Критерій – це подібність мети, її апроксимація, модель. Критерій є відображенням цінностей, втілених у меті, на параметри альтернатив. Визначення значення критерію для даної альтернативи є, по суті, побічним вимірюванням ступеня її придатності для досягнення мети.

Визначення критеріїв є неформалізованим, творчим, евристичним етапом, іноді найважливішим у процесі наукового дослідження.

Мету рідко вдається відобразити одним критерієм. Випадки, коли єдиний критерій відповідає вимогам практики, можливі. Наприклад, за стандартами освіти рівень підготовки фахівців оцінюється середнім балом. Проте ситуація, коли єдиний критерій вдало відображає мету, швидше виняток. Бо критерій лише приблизно (як і всяка модель) відображає мету, і адекватність одного критерію може виявитися недостатньою. Наприклад, критерій швидкості прибуття пожежних не адекватний меті боротьби з пожежами. Він не пов'язаний зі зменшенням кількості пожеж. Обсяг видатків на одного учня не оцінює якості навчання у школі, кількість студентів на одного викладача неоднозначно пов'язана з якістю підготовки фахівців.

Вирішення полягає не лише у пошуку більш адекватного критерію, але і у використанні декількох критеріїв, які описують одну мету по-різному і які доповнюють один одного.

Багатокритеріальність реальних задач пов'язана і з множиною цілей.

Нехай для оцінки альтернатив використовується декілька критеріїв  $q_i(x)$ ,  $i = 1, \dots, p$ . Теоретично можна уявити собі випадок, коли у множині  $X$  виявиться одна альтернатива, яка має найбільші значення усіх  $p$  критеріїв, вона і є найкращою. Однак на практиці такі випадки майже не спостерігаються, і виникає питання, як же тоді здійснювати вибір.

Перший метод полягає у тому, щоб *багатокритеріальну задачу звести до однокритеріальної*. Це означає введення суперкритерію

$$q_0(x) = q_0(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x)).$$

Суперкритерій дозволяє упорядкувати альтернативи, виділивши завдяки цьому найкращу (у змісті цього критерію). При такому методі задача зводиться до визначення екстремального значення (max, min) суперкритерію. Наприклад:

$$x = \arg \max q_0(q_1(x), \dots, q_p(x)), x \in X.$$

Об'єднання декількох критеріїв в один суперкритерій супроводжується труднощами і має недоліки, які необхідно враховувати при використанні цього методу.

У деяких випадках при розв'язанні багатокритеріальних задач виявляється можливим вибір альтернативи *за допомогою експертів*.

Критерії повинні описувати усі важливі аспекти мети, але при цьому бажано мати їх мінімальне число. Тому при формуванні критеріїв знаходять компроміс між повнотою опису цілей та кількістю критеріїв.

Практика пропонує такі групи критеріїв: технічні (ефективність функціонування, надійність); економічні (прибуток, вартість); об'ємні (кількість продукції, програма випуску); живучості (сумісність з уже існуючими системами, пристосування або гнучкість, стійкість до морального старіння, безпека). Перелічені групи не можуть відбивати усі сторони людської діяльності, тому їх необхідно розглядати як основу для подальшого пошуку.

#### 4.4 Генерування альтернатив

Якщо окреслена проблема і визначена система, яка її породжує, то необхідно створити такі умови для існування цієї системи, за яких проблема буде подолана. Можливо, виникне потреба у зміні структури чи самої системи. Цей процес дуже суб'єктивний і потребує наявності декількох варіантів, із яких можна вибрати кращий.

Теорія вибору ґрунтується на тому, що множина альтернатив задана. Тобто вважається, що уже є з чого вибирати. Проблема полягає у тому, як вибирати. Але саме формування множини альтернатив і є найбільш важким, найбільш творчим етапом системного аналізу. Пошук ідей являє собою кульмінацію процесу розв'язання задачі, адже без ідей нічого аналізувати і вибирати.

Генерування альтернатив є творчим процесом. Тому усі рекомендації щодо того, як генерувати нові альтернативи – це лише результат колективного досвіду. Корисність їх обґрунтована лише тим, що вони у багатьох (хоча і не в усіх) випадках приводять до успіху.

Для свідомого генерування альтернатив використовують різноманітні прийоми:

- пошук у патентній і журнальній літературі;
- залучення кваліфікованих експертів, які мають різноманітну підготовку й досвід;
- комбінування, утворення проміжних варіантів між запропонованими раніше;
- модифікація наявної альтернативи, тобто формування альтернатив, які лише частково відрізняються від відомої;
- розгляд альтернатив, протилежних запропонованим, серед них і «нульової» (не робити нічого);
- інтерв'ювання зацікавлених осіб та анкетні опитування;
- розгляд навіть тих альтернатив, які на перший погляд здаються нерозумними або вигаданими;
- генерування альтернатив, розрахованих на різноманітні проміжки часу (довгострокові, короткострокові).

Під час організації роботи на етапі генерування альтернатив необхідно пам'ятати про існування чинників, що гальмують творчу роботу і сприяють їй. Розрізняють внутрішні (психологічні) й зовнішні чинники.

До *внутрішніх* чинників належать: а) наслідки неправильного сприйняття дійсності; б) інтелектуальні перепони (інерція мислення, стереотипи, самообмеження, пов'язані з переконаннями, лояльністю); в) емоційні перепони (захоплення критикою інших або, навпаки, побоювання критики з боку інших; побоювання негативної реакції з боку замовника або керівництва на запропоновані альтернативи, суб'єктивне відношення до «улюблених» типів альтернатив) та ін.

Значний вплив на творчі процеси справляють і *зовнішні чинники*. Сторонні шуми і навіть погодні умови відбиваються на продуктивності творчої праці. Однак найбільш сильно на індивідуальну творчість впливають суспільні умови, загальне культурне тло, ідейна атмосфера. Схвалення певної соціальної групи – один із найсильніших стимулів для творчості людини.

Організаційно процес генерування альтернатив може бути представлений різними методами. Кращі з них отримали назву мозкового штурму, розроблення сценаріїв, морфологічного аналізу, ділових ігор.

Метод *мозкового штурму* спеціально розроблений для отримання максимальної кількості пропозицій. Техніка його така. Збирається група осіб, відібраних для генерації альтернатив. Головний принцип відбору – різноманітність професій, кваліфікації, досвіду. Повідомляється, що схвалюються будь-які ідеї, виниклі як індивідуально, так і за асоціацією при прослуховуванні пропозицій інших учасників, зокрема й ідеї, які покращують чужі. *Категорично забороняється будь-яка критика* – це найважливіша умова мозкового штурму. Критика гальмує уяву. Кожний по черзі проголошує свою ідею, інші слухають і записують на картки нові думки, виниклі під впливом почутого. Після цього усі записи збираються, сортуються й аналізуються іншою групою експертів.



Вирішення деяких проблем повинно визначити реальний розвиток подій. У таких випадках альтернативами є різноманітні послідовності дій, з яких впливатимуть різні події у системі, що досліджується. Ці послідовності мають загальний початок (нинішній стан), але потім стани їх значно розрізняються, що і призводить до проблеми вибору. Такі гіпотетичні альтернативні описи того, що може відбутися у майбутньому, називають сценаріями, а розглянутий метод – *розробленням сценаріїв*.

Рекомендується розробляти «верхній» і «нижній» сценарії – немов би крайні випадки, між якими може перебувати можливе майбутнє. Інколи корисно вміщувати до сценарію уявний, активно протидіючий елемент, моделюючи завдяки цьому найгірший випадок.

*Морфологічний аналіз* (запропонований Ф. Цвіккі) полягає у виділенні усіх незалежних змінних проектованої системи, переліку можливих значень цих змінних і генеруванні альтернатив перебором усіх можливих поєднань цих значень.

*Діловими іграми* називається моделювання реальних ситуацій, у процесі якого учасники гри поводять себе так, неначе вони дійсно виконують доручену їм роботу. Прикладами є штабні ігри і маневри військових, робота на тренажерах різноманітних операторів технічних систем (льотчиків, диспетчерів електростанцій), адміністративні ігри та ін. Незважаючи на те, що найчастіше ділові ігри використовуються для навчання, їх можна використовувати і для експериментального генерування альтернатив, особливо у слабоформалізованих ситуаціях. Важливу роль у ділових іграх, окрім учасників, відіграють контрольні-арбітражні групи, які керують грою, реєструють її хід і узагальнюють результати.

Якщо спеціально прагнути до того, щоб на початковій стадії було отримано якомога більше альтернатив, то для деяких проблем їх може бути забагато. Докладне вивчення кожної з них призведе до неприйнятних витрат часу й засобів. У таких випадках рекомендується виконати грубий відсів. Не порівнюючи альтернативи кількісно, перевірити їх на наявність деяких якостей, бажаних для будь-якої прийнятної

альтернативи. Це може бути надійність, багатоцільова придатність, адаптивність, вартість та ін.

Процес відсіву також неформалізований, і існує небезпека втратити найважливішу альтернативу. Якщо до множини альтернатив не внести справді найкращу, то жоден метод вибору її вже не запропонує.

У деяких задачах виявляється можливим глибокі відомості про альтернативи, що порівнюються, *отримати за допомогою експертів*.

Значним кроком у розвитку експертних оцінок є метод «Делфі» [27]. Основна ідея цього методу полягає у тому, що *критика благотворно впливає на експерта, якщо вона психологічно не пов'язана із персональною конфронтацією*. При цьому досить чотирьох таких етапів:

- анкетування, збирання оцінок, їх узагальнення із зазначенням розбіжності думок;
- повідомлення підсумків та запит пояснень причин індивідуального відхилення від середньої оцінки першої ітерації;
- повідомлення усіх пояснень і запит контраргументів на них;
- повідомлення заперечень і запит нових оцінок альтернатив, якщо експерт побажає їх змінити, знаходження остаточного підсумку.

Уся робота виконується під керівництвом окремої керуючої групи, до якої входять системний аналітик і особа, яка вирішує; анонімність експертів зберігається до кінця роботи (а за бажанням експертів і після її закінчення). Методика «Делфі» довела на практиці високу ефективність.

#### 4.5 Задачі вибору

Головна мета системного аналізу – розкриття системності будь-якої цілеспрямованої діяльності. Для цього необхідно побудувати систему, за допомогою якої можна узагальнювати, передавати і удосконалювати досвід такої діяльності. До цілеспрямованої діяльності належать операції моделювання,

перенесення інформації у часі та просторі, отримання нової інформації, а також вибір. Вибір – це реалізація мети. *Саме вибір реалізує підпорядкованість усієї діяльності певній меті або сукупності цілей.*

Рано чи пізно настає момент, коли подальші дії можуть бути різноманітними і привести до різних результатів. А реалізувати можна лише одну дію. Великі полководці, видатні політики, інженери та вчені, адміністратори відрізнялися і відрізняються від своїх колег передусім умінням приймати кращі рішення, робити кращий вибір.

Природне прагнення зрозуміти, що таке «гарний вибір», виробити рекомендації, як наблизитися до найкращого рішення, а якщо можливо, то і запропонувати алгоритм отримання такого рішення. Робота багатьох дослідників у цьому напрямі виявила, що повна формалізація знаходження найкращого розв'язку можлива лише для добре вивчених (добре структурованих) задач. Для розв'язання слабко структурованих задач повністю формальних алгоритмів не існує (якщо не враховувати методу спроб і помилок). Проте досвідчені й талановиті фахівці часто роблять гарний вибір. Сучасна тенденція практики вибору полягає у поєднанні можливостей людини вирішувати неформалізовані задачі з можливостями формальних методів та комп'ютерного моделювання (наприклад, діалогові системи підтримки рішень, експертні системи, інформаційно-пошукові системи, системи керування базами даних, автоматизовані системи керування та ін.).

*Щоб щось вирішити, необхідно переглянути певну множину альтернатив, у результаті чого буде сформована підмножина вибраних альтернатив (краще, якщо це можливо, щоб залишилася одна альтернатива). Це і є процес вирішення. Звуження множини альтернатив можливе за допомогою критеріїв.*

При практичному застосуванні системного аналізу створення множини альтернатив, визначення цілей і критеріїв пов'язані з певними труднощами, для подолання яких необхідні свої прийоми і методи.

Під час вибору можливі різні ситуації.

*Множина альтернатив* може бути скінченною, або континуальною.

*Оцінювання альтернативи* може здійснюватися за одним або за декількома критеріями, які, у свою чергу, можуть мати як кількісний, так і якісний характер.

*Режим вибору* може бути разовим або повторюваним, що дозволяє навчання на досвіді.

*Наслідки вибору* можуть бути точно відомі (*вибір в умовах визначеності*), мати імовірнісний характер, коли відомі можливі наслідки зробленого вибору (*вибір в умовах ризику*) і коли наслідки неоднозначні (*вибір в умовах невизначеності*).

*Відповідальність за вибір* може бути односторонньою (в окремому випадку – індивідуальною) або багатосторонньою. Відповідно розрізняють індивідуальний та груповий вибір.

*Ступінь погодженості мети* при багатосторонньому виборі може варіюватися від повного збігу інтересів сторін (*кооперативний вибір*) до їх протилежності (*вибір у конфліктній ситуації*).

Можливі також проміжні випадки, наприклад, *компромісний вибір*, *коаліційний вибір*, *вибір в умовах поширення конфлікту* та ін.

Різні поєднання перелічених варіантів приводять до виникнення різноманітних задач вибору, які вивчені неоднаково. Виконаємо стислий огляд стану теорії вибору на даний час, а також розглянемо деякі підходи до розв'язання слабоформалізованих задач вибору.

#### 4.6 Людино-машинні системи та вибір

Основною причиною виникнення системного аналізу є необхідність вирішення складних проблем, управління складними системами. Істотні особливості подолання складності можна простежити і на прикладі етапу вибору (прийняття рішення).

Простим є випадок, коли стороння допомога не потрібна. У складних випадках вимагається кваліфікована допомога в оцінюванні можливих альтернатив, допомога експертів. Кожен воєначальник має штаб, ректор – вчену раду, міністр – колегію, в окремих випадках утворюють разову групу експертів для розгляду конкретної ситуації.

Однак існують природні межі людського сприйняття й обробки інформації. Виявляється, людина водночас може оперувати лише із невеликою кількістю понять, ідей, моделей, альтернатив. Говорять про існування закону «сім плюс–мінус два». Тому використовуються можливості ЕОМ. Створюються проблемно-орієнтовані комплекси, бази знань та експертні системи.

Це шлях до штучного інтелекту. Справді, використовуючи компоненти досвіду експерта, експертна система може прийняти інтелектуальне рішення. Бажана ще додаткова властивість – спроможність системи на вимогу користувача пояснювати хід своїх міркувань зрозумілим для нього чином.

Такі інтелектуальні властивості експертних систем реалізуються завдяки:

- наявності отриманих від людини (експерта) знань у певній предметній області у формі набору фактів (предметне знання) та евристичних прийомів (емпіричних правил), введених у базу знань;
- здатності оперувати з поняттями, висловленими у термінах природної мови.

Експертні системи мають широкі перспективи. З часом їх розвиток, можливо, наблизить людство до створення штучного інтелекту. Розвиток системи автоматизованого проектування поступово перетворює їх в автоматичні системи з ознаками штучного інтелекту.

Такі системи називаються експертними системами (ЕС). Фактично експертні системи є синтезом традиційних прикладних програм (пакетів прикладних програм) із засобами теорії штучного інтелекту (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Експертна система

Якість рішень, що видаються експертною системою, повинна бути не гіршою від тих рішень, що можуть прийняти провідні фахівці у даній галузі.

Основні особливості експертних систем:

- прикладний характер, орієнтація на конкретну предметну область;
- орієнтація на користувачів, недостатньо підготовлених для роботи з обчислювальною машиною. Тому використовується мова, близька до природної;
- спроможність аргументувати прийняття того чи іншого рішення;
- необмежена можливість до розширення бази знань.

До складу типової експертної системи входять база проблемних знань, механізм виведення, підсистема

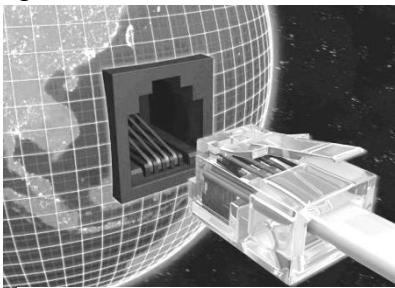


Рисунок 4.2 – Світова мережа

узагальнення і підсистема пояснення. Три останні компоненти утворюють так звану «порожню» експертну систему. Реальна ЕС одержується з порожньої після приєднання її до бази знань.

Експертна система набуде вигляду штучного інтелекту, якщо усі знання будуть введені, а

бази знань і автоматизовані системи зможуть легко ними оперувати. Можливо, інтернет (рис. 4.2) і є початком штучного інтелекту.

При цьому обов'язкові процеси свідомого вибору, тому виникають задачі цілеспрямованого багаторазового вибору, тобто відбору, селекції [27]. Вони мають місце при комплектуванні будь-яких груп елементів, кращих, ніж інші: у промисловості – при виготовленні високосортної продукції; у сільському господарстві – при виведенні нових порід тварин і сортів рослин; в управлінні – при комплектуванні висококласних груп виконавців.

#### 4.7 Алгоритми проведення системного аналізу

Удосконалення будь-якої діяльності полягає у її алгоритмізації, тобто у вдосконаленні технології. *Системний аналіз – це дослідження та вивчення об'єктів за допомогою методології теорії систем.*

Системний аналіз є пізнавальною моделлю діяльності. При цьому системний аналітик та експерти виконують творчу роботу.

Алгоритм, навпаки, це прагматична модель діяльності. Отже, виходить, що системний аналіз, у принципі, не може бути формалізований. Його не можна подати у вигляді математичної задачі і створити цілком однозначну програму її розв'язання. Такий стан характерний для будь-якої наукової роботи.

Проте вимога цілеспрямованої структурованості діяльності відповідає призначенню системного аналізу. Набутий досвід, знання про наявні формальні (серед них і математичні) процедури і про операції, які взагалі не формалізуються, дозволяють визначити *основні етапи аналізу*. Деякі з них можна формалізувати. Для етапів, які не формалізуються, наводяться рекомендації з їх розв'язання. Отже, застосування алгоритму системного аналізу – це спроба скористатися набутим досвідом, це передусім визначення етапів роботи. Тому тут можливі розгалуження і безліч варіантів.

Із цього начебто випливає, що пізнавальна діяльність (системний аналіз) базується на прагматичній моделі діяльності (на алгоритмі). Проте протиріччя тут немає. Із чогось же необхідно починати. І набагато краще, якщо при цьому використовується набутий попередниками досвід. Потім у процесі аналізу алгоритм уточнюється, змінюється.

Жодна методологія не може виключити ризику зайти у глухий кут у ході наукового дослідження. Це стосується і послідовності системного аналізу, оскільки вона має неформалізовані етапи. Добре те, що ми про це попереджені. Спроби створити достатньо загальний, універсальний алгоритм системного аналізу не матимуть успіху. Є багато різних варіантів і, вибираючи конкретну модель, ми робимо перший крок. Але в подальшому можна її змінювати або скористатися іншою моделлю.

Тому будь-який процес дослідження, проектування та цільового впливу алгоритмічний, якщо алгоритм розглядати як план цього процесу.

В. Ф. Перегудов навів [27] декілька можливих алгоритмів системного аналізу. Розглянувши деякі з них, алгоритми С. Р. Оптнера і Н. П. Федоренка (табл. 4.2), можна зазначити, що це суб'єктивні прагматичні мовні моделі одного процесу.

Справді, С. Р. Оптнер і Н. П. Федоренко у першому пункті визначають, що саме їх хвилює. С. Р. Оптнер у другому пункті аналізує, чи варто займатися цією проблемою, а Н. П. Федоренко відразу йде далі. Третій пункт у них такий самий. Четвертий і п'ятий пункти (за С. Оптнером) Федоренко об'єднує в один – п'ятий – вивчення системи. Шостий, сьомий і восьмий пункти у них ті самі, але по-різному сформульовані. Дванадцятий також схожий за змістом. Дев'ятого, десятого та одинадцятого у Федоренка немає, проте є тринадцятий, який по-своєму об'єднує зазначені пункти С. Оптнера.

Е. Л. Наппельбаум пропонує [23] алгоритм за умови, що проблема і цілі уже визначені. Починає з визначення структури системи (елементи та взаємодії). Щоб визначити структуру



системи, спершу необхідно виділити об'єкт і предмет дослідження.

Таблиця 4.2 – Порівняння деяких алгоритмів системного аналізу

	Автор	
	С. Р. Оптнер	Н. П. Федоренко
1	Ідентифікація симптомів	Формулювання проблеми
2	Визначення актуальності проблеми	
3	Визначення мети	Визначення мети
4	Визначення структури системи та її дефектів	
5	Визначення можливостей	Збирання інформації
6	Знаходження альтернатив	Розроблення максимальної кількості альтернатив
7	Оцінювання альтернатив	Відбір альтернатив
8	Вироблення рішення	Побудова моделей у вигляді рівнянь, програм або сценаріїв
9	Визнання рішення	
10	Запуск процесу рішення	
11	Управління процесом реалізації рішення	
12	Оцінювання реалізації та її наслідків	Оцінювання витрат
13		Іспит чутливості рішення (параметричні дослідження)

Визначення предмета дослідження дозволяє відобразити його у вигляді структурованої системи і при цьому науково обґрунтувати тему роботи. Наприклад, так можна сформулювати тему наукової роботи у галузі оброблення металів різанням (рис. 4.2).

Далі йде визначення взаємодій із навколишнім середовищем (взаємодія з підсистемами оточення, положення в ієрархії головного процесу); класифікація системи (дозволяє визначити

методологію дослідження і застосувати той чи інший метод); розроблення фізичних моделей взаємодії елементів та підсистем (види деформацій, формування напружень, витрати ресурсу дієздатності, рух і перетворення енергії); моделювання системи (механізм процесу, математичне моделювання); визначення найбільш перспективних напрямків взаємодії із системою (закон управління, керуючі впливи).


<b>ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> – це процес або явище, що створює проблемну ситуацію	Процес різання
<b>ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> – та частина об'єкта, яка підлягає дослідженню	Елементи і взаємодії системи різання в умовах стабільного процесу точіння
<b>НАЗВА</b> – тема роботи, яка визначена предметом дослідження	<b>Теоретичні основи стабільного процесу різання при точінні</b> 

Рисунок 4.2 – Визначення теми наукової роботи

Цей алгоритм найбільш придатний для наукових досліджень.

### **Контрольні запитання**

- 1 Що таке проблема?
- 2 Що таке проблематика?
- 3 Хто може бути зацікавленою особою при визначенні проблеми?
- 4 Як визначити мету для агрегування проблеми?
- 5 Яка основна причина ітеративності системного аналізу?
- 6 Що таке критерій?
- 7 Які є прийоми генерування альтернатив?
- 8 Що таке метод мозкового штурму?
- 9 Що таке метод розроблення сценаріїв?
- 10 Що таке морфологічний аналіз?
- 11 Що таке ділові ігри?
- 12 Чи можливо створити універсальний алгоритм системного аналізу?
- 13 Що таке процес вирішення?
- 14 Що таке критеріальний метод вибору?
- 15 Як можна об'єднати множину критеріїв?
- 16 Який склад мають експертні системи?

- 17 Для чого необхідні людино-машинні системи вибору?
- 18 Як експертна система наближається до штучного інтелекту?

### ***Темі рефератів***

- 1 Критеріальний підхід до вибору альтернатив [4], [17].
- 2 Проблема і проблематика [4], [27].
- 3 Виявлення ієрархічного дерева цілей [24], [27], [31].
- 4 Методи генерування альтернатив [4], [27].
- 5 Основні принципи будови експертних систем [17], [24].
- 6 Проблема вирішення задач вибору [4], [31].

## Розділ 5

# СИНЕРГЕТИКА

---

### 5.1 Завдання синергетики

Автор терміна «синергетика» – Річард Фуллер [35]. Під синергетикою Фуллер розумів енергетично ефективну геометрію. Розробляв такі об'ємні геометричні конструкції, для створення та існування яких необхідно було витратити мінімальну кількість енергії. Він відштовхувався від сферичних конструкцій, справедливо вважаючи, що повна енергоефективність фізичного Всесвіту завдячує саме такій формі.

Термін «синергетика» у теорії систем уперше застосував Герман Хакен у своїй книзі «Таємниці природи. Синергетика: вчення про взаємодію» [36]. Цей розділ, синергетика, вивчає загальні закономірності взаємодій у системах різної природи на основі принципів їх самоорганізації. Саме Хакена вважають першим, хто спрямував увагу дослідників на вивчення явища самоорганізації систем.

Людство постійно шукає і знаходить нові закони, єдині для усіх процесів, що відбуваються у природі. Звідси прагненням учених систематизувати розрізненні факти, зрозуміти і зіставити їх із законами Всесвіту. Навіть розібравшись із будовою досліджуваної структури, ми повинні ще зрозуміти, яким чином взаємодіють один з одним окремі елементи, що входять до цієї структури.

Інколи нас цікавлять не окремі процеси, що визначають функції елементів системи, а загальні закони, за якими формуються структури. Розглянемо футбольний матч. У ньому беруть участь різні фізично і психологічно налаштовані люди з різним рівнем професійної підготовки, у різних погодних умовах, із різними тренерами та спорядженням і непередбачуваним положенням на полі у кожному часовому інтервалі. Тобто у цій структурі виникає безліч взаємозв'язків і

впливів. Проте результат гри набагато простіший, ніж усі непередбачувані ситуації під час неї: це може виграти одна з двох команд або буде нічия.

Синергетику передусім цікавлять загальні шаблони, еталонні структури, які утворюються у результаті складних процесів. Дані про колективну поведінку не обмежуються областю чистого наукового знання, вони безпосередньо стосуються економічної і громадської сторін життя.

Синергетика є міждисциплінарним підходом, оскільки принципи, що керують процесами самоорганізації, залишаються одними й тими незалежно від природи системи, і для їх опису має бути придатний загальний математичний апарат [7].

## 5.2 Самоорганізація у живій та неживій природі

Відомі процеси мутації серед тваринного і рослинного світу. Тваринні спільноти, взаємодії різних видів рослин і пристосування їх до навколишнього середовища. Це самоорганізація екосистем.

Прикладом взаємодії різних організмів є екосистеми коралового рифу (рис. 5.1). Його матеріальною основою є вапняна конструкція. Вона забезпечує оптимальне розміщення усіх видів щодо потоку світла і захищає їх співтовариства від руйнівної дії хвиль та припливних течій. Здатність коралів формувати мільярди тонн вапняку забезпечується тісними фізіологічними відносинами з одноклітинними водоростями зооксантелами (*Zoanthellae*) [19].

Велика частина істот потребує освітленості, достатньої для життя розміщених в них зооксантел. Інші тварини часто мешкають під поверхнею живих і мертвих колоній коралів, під різними навісами у щілинах і печерах. Усі вони забезпечують нішу і захист для численних черв'яків, дрібних ракоподібних, моллюсків та риб. Ерозійний матеріал вапняних організмів (щєбінь з уламків мертвих коралів, кораловий пісок, залишки скелетів голкошкірих, моллюсків та ін.) також забезпечує місце

існування для низки тварин і рослин. Постійні або випадкові відвідувачі – акули, манти, черепахи та інші.



Рисунок 5.1 – Екосистема коралового рифу

Основне живе покриття рифів забезпечують морські водорості, вапняні корали, гідроїди (гідромедузи), м'які корали, горгонарії (рогові корали), анемони, губки та ін. У фізичному контакті із субстратом перебувають численні малорухливі або осілі тварини. Здатні переміщатися, вони, проте, рідко віддаляються від звичного місця існування. Багато видів гастропод, морських їжаків та зірок, голотурій і крабів тісно пов'язані з ними. Територіальні тварини плавають над субстратом і прикріпленими до нього мешканцями, але віддають перевагу робити це в межах свого «дому».

Кожен риф – ізольована структура. Проте він забезпечує достатню кількість притулків і продовольства величезної різноманітності організмів – від бактерій до ссавців. Відповідна для кожного конкретного випадку ніша є своєрідною премією (страховкою), за яку відбувається інтенсивна *конкуренція*.

Нерухомий або осілий спосіб життя пов'язаний із великим ризиком піддатися атаці хижаків. Ймовірно, тому з безлічі різних стратегій, що дозволяють впоратися з цією небезпекою, був вироблений один із найбільш ефективних заходів не лише захисту, але і нападу – токсичність. У змаганні за специфічні житла у рифових організмів розвинулися різні якості. Однією з

найбільш важливих у сидячих тварин є здатність за короткий термін сформувати колонії і регенерувати. До арсеналу засобів конкуренції входить і алелопатія – вплив представників одних видів на особини інших за допомогою виділення різних речовин. Хоча усе, що народжується на нашій планеті, неначе підписує собі вирок, роблячи перший крок до смерті і небезпек, проте зберігає прагнення розвиватися і розмножуватися. Так само описані вище взаємні загрози мешканців рифу, «бажання» більшості з них ужалити, отруїти і з'їсти один одного не зупиняють життя на рифі – воно вирує і триває.

Є приклади самоорганізації і в неживій природі, що, на перший погляд, є протиріччям її основним законам.

Другий закон термодинаміки передбачає, що світ послідовно і невблаганно переходить до стану хаосу. Впорядковані функціональні процеси повинні зупинитися, усі порядки – порушитися.

Якщо нагріти один кінець металевого стрижня, то незабаром після деякого часу температура обох кінців стане однаковою. Щоб один кінець стрижня раптово сам по собі став гарячим, а інший холодним – такого бути не може. Якщо ми починаємо гальмувати автомобіль, то гальмівні колодки нагріваються. Проте автомобіль не зрушить із місця, якщо нагрівати його гальма. Усі ці процеси можуть відбуватися лише в одному напрямі, вони називаються безповоротними. Людвіг Больцман відповів, чому процеси у природі відбуваються у певному напрямі. Виявляється, що усі процеси в природі рухаються у бік збільшення невпорядкованості.

Проте кристали не є живими істотами, вони утворюються з аморфного стану у процесі впорядкування. Цей приклад демонструє можливість самоорганізації у неживій матерії.

Відомі стани речовини: твердий (аморфний чи кристалічний), рідкий, газоподібний, плазмовий. Їх називають фазами, а переходи від одного стану до іншого – фазовими переходами. Фазові переходи – це переходи від хаосу до порядку і навпаки.

На мікроскопічному рівні ці фази відрізняються лише організацією молекул, їх розташуванням одна щодо одної.

### 5.3 Хвилева теорія будови елементарних частин

У структурі скла існує аморфна і кристалічна фази, хоча скло має переважно аморфну структуру. Тіла такого типу – «тверді рідини» – називають аморфними тілами. Тому склу властиві специфічні властивості, характерні для аморфних тіл. Можлива кристалізація скла, якій сприяють температура, середовище, з яким контактує його поверхня, різні включення. Виявлено, що фізико-хімічною суттю процесу старіння скла є перетворення фрагментів кристалічної структури (поліморфоїдів) одного типу на інший, що закінчується кристалізацією.

Спостерігається збільшення об'ємної частки кристалічної фази в аморфному металевому сплаві після його деформації [13], тобто після зовнішнього енергетичного впливу.

Отже, кристали утворюються з аморфного стану у процесі впорядкування. Цей процес має вигляд самоорганізації у неживій матерії. Але, можливо, за таємничим терміном «самоорганізація» криється поки що не встановлене природне явище? Перехід аморфної речовини до кристалічного стану відбувається не завдяки самоорганізації, а за рахунок відомої чи невідомої зовнішньої енергії, що випромінюється з оточуючого середовища.

Наприклад, у хвильовій теорії будови елементарних частин вважається, що матеріальні частини матерії – це квантові хвильові утворення, збуджені стани квантового поля [3]. Таким чином, елементарні частини – це збуджені енергетичні поля, які можуть впливати одне на одного.

Проведені дослідження виявили взаємодію хвильової енергії світла з полями електронів твердого тіла [39], що також свідчить про можливість хвильової будови Всесвіту.

Хвильова теорія будови елементарних частин є узагальненням, послідовним розвитком уявлень про єдність



природи речовини і поля. Якщо матеріальні частини матерії – це енергетичні поля, то тут ми стикаємося із закономірністю, що може бути основною для феномену самоорганізації. Можливо те, що ми вважаємо самоорганізацією, є не що інше як взаємодія хвильових утворень.

Отже, синергетика не надає готових рішень. Вона призначена для створення деякого поштовху для роздумів, а зовсім не є керівництвом до дії. Більше того, однозначні рішення часто зовсім неможливі.

#### 5.4 Основні закономірності синергетики

З іншого боку, самоорганізацію синергетика пояснює існуванням *параметра порядку*. Він підпорядковує собі елементи системи. Параметр порядку керує елементами системи, але і вони, у свою чергу, здатні ним управляти.

*Принцип підпорядкування* відіграє у синергетиці основну роль. Колективна поведінка множини окремих елементів та їх власна доля визначаються під час їх взаємодії один з одним: *через конкуренцію, з одного боку, і кооперацію – з іншого.*

Якщо синергетичну поведінку оптичних параметрів пояснювати тим, що для забезпечення синхронності їх коливань повинен існувати *параметр порядку*, то в даному випадку цю роль виконує світлова хвиля.

Маємо типовий для синергетики приклад взаємодії між *випадковістю й необхідністю*: «випадковість» тут втілюється збігом екстремальних значень енергії світлової хвилі з екстремальними значеннями енергії хвилі електрона, а «необхідність» – законом конкуренції і відбору.

У біології роль *випадковості* бере на себе мутація. Спочатку повинен виникнути новий вид, або ж вид, що існував до цього часу лише в обмеженій кількості (наприклад у вузькій екологічній ніші), повинен отримати можливість до безперешкодного розмноження і стати пануючим.

Унаслідок зовнішніх змін створюються умови, в яких виникає новий стан упорядкованості (*необхідність*), визначений відповідним параметром порядку.

У деякий час один із параметрів порядку домінує і пригнічує усі інші, пропонуючи їм власний тип руху; потім цей параметр порядку втрачає своє панування, положенням заволодіває наступний параметр порядку і так далі. «Зміна влади» відбувається хаотично.

*Кооперація і співіснування*, з одного боку, і *конкурентна боротьба* – з іншого, лежать в основі розвитку окремих організмів.

Але що таке параметр порядку? Якими законами природи він обумовлюється? Стан хаосу передбачає другий закон термодинаміки, а параметр порядку з'являється нізвідки. Незрозумілий механізм «самоорганізації» пояснюється наявністю «параметра порядку». Тобто одна невизначеність замінюється іншою.

Можливо, що протилежне до хаосу явище упорядкування у неживій природі є наслідком закону збереження енергії? Якщо справді матеріальні частини матерії – це квантові хвильові утворення, то збудження такого квантового поля при переході енергії із одного виду в інший викликає процес упорядкування. Отже, поки що синергетика не надає однозначних рішень, а створює поштовх для роздумів. Вона є міждисциплінарним підходом, і якщо принципи, що керують процесами самоорганізації, не залежать від природи системи, то необхідна робота вчених різних наукових напрямків для їх опису.

Синергетика, окрім усього іншого, дає повне розуміння того, що в певних ситуаціях навіть невеликі зміни зовнішніх умов можуть призводити до раптових та радикальних змін у системі [36].

### **Контрольні запитання**

- 1 Що таке синергетика?
- 2 Хто першим застосував термін «синергетика»?
- 3 Що цікавить синергетику?
- 4 Конкуренція серед живих організмів.

- 5 Приклади самоорганізації у неживій природі.
- 6 Що таке хвильова теорія будови елементарних частин?
- 7 Взаємовідносини між випадковістю й необхідністю.
- 8 Кооперація та співіснування, конкурентна боротьба.

### ***Темі рефератів***

- 1 Основні закономірності синергетики [36].
- 2 Самоорганізація у живій та неживій природі [36], [37].
- 3 Основні закономірності синергетики [36], [37].

## ПІСЛЯМОВА

---

---

Ефективними результати системного аналізу вважаються тоді, коли спостерігається поліпшення роботи організації клієнта з точки зору хоча б однієї зацікавленої сторони і немає погіршення цієї роботи з точки зору всіх інших.

Розвиток пов'язаний із навчанням, а навчатися за інших неможливо, тому неможливо і розвивати іншу людину або організацію зовні. Єдиний засіб розвитку – саморозвиток. Можна заохотити і підтримати розвиток інших, але це може бути зроблене лише за їх участі.

Системний аналітик, виявляючи підтримку і допомогу, робить інших здатними справлятися зі своїми проблемами більш успішно, ніж вони це можуть зробити без нього. Він схожий на вчителя. Не можна навчатися за когось – усі повинні навчатися самі. Але можна допомогти навчитися більшого і швидше. Системна практика передусім є пізнавальним процесом для клієнтів.

Основою системного аналізу на підприємстві є добровільна участь зацікавлених сторін. Для цього вони повинні бути впевненими, що їх участь справді вплине на отримані результати, вони матимуть матеріальну винагороду, робота буде мати пізнавальний ефект, результати справді будуть впроваджені.

Учасникам аналізу необхідно дотримуватися таких правил:

- обидві сторони можуть відмовитися від продовження роботи у будь-який момент і з будь-якої причини;
- жодна зі сторін не зобов'язана продовжувати роботу у випадку її незадовільності;
- системний аналітик приділяє достатньо часу навчання персоналу організації для того, щоб згодом роботу організація могла виконувати і без нього;
- системний аналітик не прагне присвоїти собі заслуги в отриманні позитивних результатів, навпаки, він всіляко підкреслює заслуги інших учасників;

- системний аналітик висуває професійні вимоги не лише до якості своєї роботи, але й до умов, створених для його роботи;
- системний аналітик повинен виявляти повагу до інтелекту відповідальної особи, яка приймає рішення.

При дослідженні реальної системи стикаються з різноманітними проблемами. Одній людині бути професіоналом у різних галузях неможливо. Отже, кожен, хто береться здійснювати системний аналіз, повинен мати належну освіту і досвід для розпізнання і класифікації конкретних проблем, для визначення того, до яких фахівців необхідно звернутися для продовження аналізу. Такий фахівець повинен мати ерудицію, уміння залучати людей до роботи і організовувати їх колективну діяльність.

Будь-яка теорія – це узагальнення практичного досвіду. Сучасна теорія систем є емпіричним зібранням філософських настанов, корисних порад і рецептів, озброєних арсеналом допоміжних математичних методів і знань із різних предметних наук, що стосуються проблеми, яка розглядається. Усе це об'єднане у систему, яка організована за єдиною ідеєю. Такою ідеєю є діалектика. Отже, можна визначити, що *теорією систем є прикладна діалектика*. Вона реалізує діалектичний метод при розв'язанні прикладних задач.

Теорія систем надає великого значення методологічним аспектам дослідження. Її прикладне спрямування приводить до використання усіх сучасних засобів наукових досліджень – математики, обчислювальної техніки, моделювання, спостережень і експериментів. Тому це є і *загальнонауковою методологією*.

Системний аналіз виник у відповідь на вимоги практики вивчати і проектувати складні об'єкти, керувати ними в умовах неповноти інформації, обмеженості ресурсів, дефіциту часу. Системний аналіз об'єднує теорію і практику, здоровий глузд і абстрактну формалізацію. Системний аналіз – це дослідження та вивчення об'єктів за допомогою методології теорії систем.

У системному аналізі увага акцентується на труднощах формулювання задач, на методах їх подолання.

Правильно сформулювати задачу – означає наполовину її розв'язати.

Методи, що використовуються при системному аналізі, поділяються на:

- строго формалізовані (оптимізація, передача інформації);
- спрямовані на формалізацію (експериментальні дослідження, побудова моделей);
- слабоформалізовані (експертні оцінки, колективний вибір);
- такі, що не формалізуються (формулювання проблем, виявлення мети, визначення критеріїв, генерування альтернатив, прийняття рішень).

Подолання труднощів, природа яких пов'язана з неповною формалізацією, вимагає системного застосування спеціальних знань і методів.

На практиці фахівці, які працюють на керівних господарських посадах, до системного підходу ставляться з упередженістю. Вважають, що системний підхід – не що інше, як здоровий глузд. При цьому не враховується відмінність між природним, інтуїтивним рівнем системності будь-якої діяльності і більш високим рівнем свідомої, науково виваженої системності. Те, чого вдається досягнути обдарованій і з великим практичним досвідом людині, може зробити звичайна людина, керуючись науковим системним підходом до проблеми.

Чи дає теорія систем і виконаний за її методологією системний аналіз однозначну відповідь на вихід зі скрутної ситуації? Ні. Чи має теорія систем математичний апарат, за допомогою якого можна розв'язати нагальну проблему? Знову ні. Але теорія систем надає можливі варіанти шляхів досягнення мети. Надає методологію визначення проблематики та цільової області, з нею пов'язаної.

## Словник спеціальних термінів

*a*

*Агрегування* – об'єднання елементів у єдине ціле.

*Адекватна модель* – модель, за допомогою якої успішно досягається поставлена мета.

*Алгоритм* – підлегла меті послідовність взаємозв'язаних складових діяльності, її модель.

*Аналіз* – діяльність, що вживається для встановлення придатності, адекватності, результативності об'єкта для досягнення встановлених цілей.

*Атрактор* – асимптотична межа рішень, на які прямо не впливають початкові умови.

*d*

*Декомпозиція* – розділення цілого на незалежні одна від одної частини.

*e*

*Емерджентність* – поява нових якостей у систем при об'єднанні елементів.

*Ентропія* – міра невизначеності.

*з*

*Задача* – усвідомлене суб'єктом утруднення з явно заданою метою, яку необхідно досягти, розв'язується відомими методами.

*i*

*Інгерентність моделі* – узгодженість із середовищем.

*Інтелект* – здатність орієнтуватися у незнайомих умовах і знаходити рішення слабоформалізованих задач.

*Інформація* – сукупність знань, отриманих різними науками.

*Істотна частина* – компоненти структури, які істотно впливають на мету аналізу.

*к*

*Керування без зворотного зв'язку* – точно відома траєкторія, а отже, апріорі відоме і правильне керування.

*Керування налаштуванням параметрів* – вплив на елементи системи (коли відхилення від траєкторії настільки велике, що

неможливо повернутися до неї) до того часу, поки не буде забезпечений перетин цільової області.

*Керування регулюванням* – спостереження за поточною траєкторією, знаходження відхилення і визначення додаткового до програмного керування, яке повертає виходи системи на потрібну траєкторію.

*Керування як структурна адаптація* – зміна структури системи у пошуках такої, при якій можливе влучання у цільову область.

*Кібернетика* – наука про управління складними системами.

*Кількість інформації* – міра знятої невизначеності.

*Конфігуратор* – певний первинний агрегат (система різних мов опису, правил, законів, визначень, стандартів, порядку розподілу інформації та ін.), який спрямовує формування структури системи.

#### М

*Мета* – суб'єктивний образ (абстрактна модель) не існуючого, але бажаного стану середовища, при якому буде вирішена утворена проблема.

*Методика* – встановлений засіб здійснення діяльності.

*Модель* – цільове суб'єктивне відображення одного об'єкта в термінах іншого.

#### О

*Об'єкт* – об'єктивно існуюче оточення, процес або явище, що створюють проблемну ситуацію.

#### П

*Параметр порядку* – параметр, що підпорядковує собі елементи системи і керує ними під час самоорганізації.

*Предмет* – та частина об'єкта, яка підлягає дослідженню.

*Принцип причинності* – відгук реальної системи на деякий вплив не може початися раніше від самого впливу.

*Проблема* – задача (з грецької), для якої немає відповідних методів розв'язання.

#### Р

*Розвиток* – те, що відбувається із системою при зміні її мети.



с

*Синергетика* – розділ теорії систем, що вивчає загальні закономірності взаємодій у системах різної природи на основі принципів їх самоорганізації.

*Система* – цільове суб'єктивне відображення об'єктивної дійсності.

*Система автоматизованого проектування (САПР)* – організаційно-технічна система, що складається з комплексу засобів автоматизації проектування.

*Системний аналіз* – процес різнобічного вивчення об'єктів за методологією теорії систем.

*Системний підхід* – вирішення проблеми із застосуванням методології теорії систем.

*Складна система* – система, про яку не вистачає інформації.

*Стаціонарний випадковий процес* – процес, у якому для будь-якого інтервалу розподіл ймовірностей із часом не змінюється.

*Стохастичний процес* – процес, обумовлений сім'єю випадкових величин, що є функцією часу.

*Структура системи* – сукупність необхідних і достатніх для досягнення мети відношень між елементами і самі елементи.

т

*Теорія* – узагальнення практичного досвіду.

*Теорія систем* – емпіричне зібрання філософських настанов, корисних порад та рецептів, озброєне арсеналом допоміжних математичних методів і знань із різних предметних наук.

ф

*Функціонування* – процеси, що відбуваються у системі (і в її оточенні) при стабільній реалізації поставленої мети.

я

*Якість* – ступінь, за яким сукупність власних характеристик продукції задовольняє вимоги споживача.

*Якість системи* – досягнення поставленої мети за мінімальних витрат ресурсів.

Додаток А  
(обов'язковий)

**Тестові завдання для перевірки знань**

1. Що таке алгоритмічність діяльності:
  - a) підлеглий меті взаємозв'язок складових діяльності;
  - b) послідовність операцій діяльності;
  - c) усвідомлена послідовність діяльності.
2. Яка природна межа механізації праці:
  - a) досконалість механізмів;
  - b) властивості матеріалів, з яких виготовляються механізми;
  - c) можливості людини.
3. Що обмежує автоматизацію:
  - a) відсутність регуляторів;
  - b) відповідність алгоритму;
  - c) кількість автоматів.
4. Що таке кібернетика:
  - a) застосування роботів;
  - b) виготовлення і ремонт роботів;
  - c) наука про управління складними системами.
5. Що таке інтелект:
  - a) здатність орієнтуватися у незнайомих умовах;
  - b) міра повноти набутих знань;
  - c) поведінка людини в суспільстві.
6. У чому полягає суть аналізу:
  - a) у використанні законів фізики;
  - b) у поданні складного у вигляді сукупності більш простих компонент;
  - c) в умінні абстрактно мислити.
7. Як відбувається синтез загальнолюдських знань:
  - a) завдяки диференціації наук;
  - b) завдяки підвищенню системності в усіх галузях;
  - c) завдяки використанню математики.
8. Що таке теорія:
  - a) узагальнення практичного досвіду;

- b) множина формул;
  - c) словесне відображення об'єкта.
9. Що таке модель:
- a) копія іншого об'єкта;
  - b) зменшена копія;
  - c) цільове відображення об'єкта.
10. У чому полягає цільове спрямування моделей:
- a) у тому, що модель замінює оригінал;
  - b) модель відображає те що відповідає поставленій меті;
  - c) моделі можуть утворювати ієрархію.
11. Що називається інгерентністю моделі:
- a) узгодженість із середовищем;
  - b) досягнення мети;
  - c) пристосованість середовища до моделі.
12. Що таке адекватність моделі:
- a) точне відображення моделлю об'єкта;
  - b) необхідна для досягнення мети відповідність між моделлю та об'єктом;
  - c) приблизне відображення моделлю об'єкта.
13. Чим відрізняються пізнавальна і прагматична моделі:
- a) пізнавальна модель наближає об'єкт до реальності, а прагматична – ні;
  - b) пізнавальна модель використовується в управлінні, а прагматична – в дослідженні;
  - c) пізнавальна модель відбиває існуюче, а прагматична – бажане.
14. Що таке механізм процесу:
- a) логічна послідовність елементарних актів, що приводять до досягнення мети;
  - b) це «миттєва фотографія» процесу;
  - c) сукупність статичних і динамічних моделей.
15. Що таке абстрактна модель:
- a) багатозначність кожного слова або невизначеність слів;
  - b) ідеальні конструкції побудовані засобами мислення;
  - c) приблизність природної мови.
16. У чому полягає приблизність мовних моделей:

- a) у невизначеності розділових знаків;
  - b) у неточності перекладів;
  - c) у багатозначності слів та безлічі їх сполучень.
17. Що таке математична модель:
- a) сукупність математичних формул;
  - b) множина рівнянь та нерівностей;
  - c) сукупність абстрактних математичних об'єктів та відношень між ними.
18. Що таке пряма подібність:
- a) подібність, утворена у результаті фізичної взаємодії у процесі створення моделей;
  - b) однаковість матеріалу моделі і об'єкта;
  - c) збіг або близькість абстрактних моделей.
19. Що таке умовна подібність моделі:
- a) різний масштаб моделі і об'єкта;
  - b) подібність до оригіналу встановлюється за угодою;
  - c) різні терміни відображення об'єктів.
20. Що таке кінцевість:
- a) граничні розміри моделі;
  - b) подібність моделі до оригіналу у кінцевій кількості відношень;
  - c) склад множини елементів.
21. Що таке наближеність:
- a) показник точності моделювання;
  - b) схожість матеріалу моделі і об'єкта;
  - c) наближеність розмірів моделі і об'єкта.
22. Що таке мета:
- a) кінець існування системи;
  - b) досконала модель майбутнього;
  - c) модель стану, на досягнення якого спрямована діяльність.
23. Що таке «чорна скринька»:
- a) умовне відображення системи без розкриття її внутрішньої будови;
  - b) колір зовнішньої оболонки системи;
  - c) обмеження системи.
24. Що таке вхід системи:

- a) одна із граней «чорної скриньки»;
  - b) зв'язки між елементами системи;
  - c) зв'язки, спрямовані із середовища у систему.
25. Що таке вихід системи:
- a) зв'язки, між системою і середовищем;
  - b) продукт діяльності системи;
  - c) зв'язки, спрямовані від системи у середовище.
26. Що таке елементи системи:
- a) частини, з яких складається система;
  - b) неподільні частини системи;
  - c) головні складові системи.
27. Що таке структура системи:
- a) сукупність елементів і відношень між ними;
  - b) кількість елементів;
  - c) перелік відношень між елементами.
28. Що таке принцип причинності:
- a) функціональна залежність;
  - b) усе, що відбувається у навколишньому середовищі залежить від стану системи;
  - c) відгук системи на вплив не може початися раніше від самого впливу.
29. Що таке стохастичний процес:
- a) процес, що залежить від ймовірних властивостей елементів;
  - b) процес, що визначається сім'єю випадкових величин, які є функцією часу;
  - c) процес, що змінюється у часі.
30. Що таке дисипативна система:
- a) поглинаюча енергію;
  - b) система без тертя;
  - c) система, на яку не впливають зовнішні чинники.
31. Що таке замкненість системи:
- a) збереженість її властивостей при зміні умов у навколишньому середовищі;
  - b) відсутність зав'язків із навколишнім середовищем;
  - c) відсутність інформації про її існування.

32. Що означає відкритість системи:
- a) за функціонуванням системи можна спостерігати;
  - b) елементи та їх взаємодії піддаються зовнішньому впливу;
  - c) до системи легко додається елемент або підсистема.
33. Для чого необхідна класифікація системи:
- a) для правильного її відображення;
  - b) для вибору правильної стратегії аналізу;
  - c) для управління.
34. Що таке система:
- a) об'єктивно існуюча дійсність;
  - b) упорядкована послідовність діяльності;
  - c) цільове суб'єктивне відображення об'єктивного світу.
35. Що таке функціонування системи:
- a) процеси у системі при стабільній реалізації поставленої мети;
  - b) процеси у системі при зовнішньому впливі;
  - c) процеси у навколишньому середовищі при існуванні системи.
36. Що таке розвиток системи:
- a) збільшення кількості елементів;
  - b) змінювання системи при зміні її мети;
  - c) збільшення кількості підсистем.
37. Що таке атрактор дисипативної системи:
- a) асимптотична межа рішень, на які впливають початкові умови;
  - b) тертя у процесі функціонування;
  - c) асимптотична межа рішень, на які не впливають початкові умови.
38. Які об'єкти відображають системи:
- a) штучні, природні і змішані;
  - b) штучні;
  - c) природні.
39. Що таке прикладна діалектика:
- a) системний аналіз;
  - b) математичний вираз;
  - c) вивчення об'єктів.

40. Що таке складна система:
  - a) така, про яку не вистачає інформації;
  - b) така, що складається із різних за фізичними властивостями елементів;
  - c) така, що складається із підсистем.
41. Як розміщуються засоби керування щодо системи:
  - a) зовні;
  - b) усередині;
  - c) усередині, зовні, розподілені.
42. Які є методи керування системами:
  - a) виведення системи на потрібну траєкторію;
  - b) забезпечення перетину поточної траєкторії з цільовою областю;
  - c) без зворотного зв'язку, регулювання, настроювання та структурної адаптації.
43. Що таке ресурси управління:
  - a) матеріальні об'єкти, що складають конкретну систему;
  - b) абстрактні об'єкти;
  - c) абстрактні і матеріальні об'єкти, що знаходяться зовні системи.
44. Як оцінити якість системи:
  - a) за кількістю витрачених ресурсів при досягненні мети;
  - b) за енергетичними витратами;
  - c) за методами регулювання.
45. Що таке «організаційна структура» компанії:
  - a) технічні, фінансові та інформаційні ресурси;
  - b) системні фактори та процеси;
  - c) види робіт, виходами яких є результати, що відповідають цілям.
46. Що означає термін «процес» у системі управління якістю:
  - a) послідовність розвитку ситуації;
  - b) перевірка діяльності компанії;
  - c) взаємодії між елементами та підсистемами.
47. Визначення самооцінки роботи:
  - a) приведення у відповідність можливостей компанії з її цілями;

- b) збирання вихідних даних для планування покращень;
  - c) оцінки та висновки щодо діяльності компанії.
48. Які методи застосовуються при управлінні підприємством:
- a) структурна адаптація;
  - b) усі відомі методи керування;
  - c) регулювання.
49. Що таке декомпозиція:
- a) поділення цілого на незалежні одна від одної частини;
  - b) об'єднання елементів в одне ціле;
  - c) визначення умов керування системою.
50. Для чого використовують синтез у системному аналізі:
- a) для пізнання складного цілого;
  - b) для кращої роботи системи;
  - c) для стабільного розвитку системи.
51. Як досягнути компромісу між повнотою і простотою системи:
- a) розглянути проблему всебічно і докладно;
  - b) структура повинна бути максимально компактною;
  - c) до структури вносяться лише компоненти, які істотно впливають на мету.
52. Що таке агрегат:
- a) об'єкт, який підлягає вивченню;
  - b) динамічна система;
  - c) результат агрегування.
53. Що таке емерджентність:
- a) процес об'єднання елементів;
  - b) поява нових якостей у систем;
  - c) об'єднання якостей елементів.
54. Яка мета агрегування пізнавальної системи:
- a) для кращого засвоєння наук;
  - b) створення на етапах аналізу і синтезу структури;
  - c) використання робіт винахідників.
55. Що таке конфігуратор:
- a) вплив на систему;
  - b) оболонка системи;
  - c) агрегат, що спрямовує формування структури системи.



56. Що таке теорія систем:
- a) розділ математики;
  - b) прикладна діалектика та загальнонаукова методологія;
  - c) методологія дослідження.
57. Що таке системний аналіз:
- a) дослідження та вивчення об'єктів за допомогою методології теорії систем;
  - b) використання математики в теорії систем;
  - c) дискретизація та синтез.
58. Як можна класифікувати методи системного аналізу за ступенем формалізації:
- a) спрямовані на формалізацію;
  - b) строго та слабо формалізовані, спрямовані на формалізацію, не формалізуються;
  - c) слабо та строго формалізовані.
59. Що таке процес вирішення:
- a) поєднати можливості людини з можливостями формальних методів;
  - b) досягнути мети аналітичними методами;
  - c) переглянути множину альтернатив і сформулювати підмножину вибраних.
60. Що таке критеріальний метод вибору:
- a) використання під час вибору критеріїв;
  - b) кожен альтернативу можна оцінити конкретним числом;
  - c) різні поєднання варіантів ситуації.
61. Як можна об'єднати множину критеріїв:
- a) введення суперкритерію;
  - b) анкетування і збирання оцінок;
  - c) використання експертів.
62. Який склад мають експертні системи:
- a) порожня експертна система і база знань;
  - b) механізм виведення і база знань;
  - c) підсистема узагальнення і підсистема пояснення.
63. Для чого необхідні людино-машинні системи вибору:
- a) для орієнтації на конкретну предметну область;
  - b) для оперування поняттями у термінах природної мови;

- с) для розширення межі людського сприйняття та оброблення інформації.
64. Як експертна система наближається до штучного інтелекту:
- а) орієнтацією на користувачів, недостатньо підготовлених для роботи з ЕОМ;
  - б) розширенням бази знань та підвищенням автоматизації оперування ними;
  - с) використанням евристичних прийомів, уведених у базу знань.
65. Що таке інформація:
- а) сукупність знань, отриманих різними науками;
  - б) вимірювання ряду величин;
  - с) розширення теоретичних моделей.
66. Що таке ентропія:
- а) міра невизначеності;
  - б) дискретний процес;
  - с) сліди людської діяльності.
67. Що таке стаціонарний процес:
- а) процес із передбаченою зміною статичних характеристик;
  - б) процес із змінними статичними характеристиками;
  - с) процес із постійними статичними характеристиками.
68. Як можна інтерпретувати процес отримання інформації:
- а) визначення координат термодинамічного стану;
  - б) зміна невизначеності у результаті прийняття сигналу;
  - с) акумулювання внутрішньої енергії.
69. Які властивості інформації:
- а) незалежність від часу;
  - б) кількість, сенс, доброякісність, цінність, старіння;
  - с) невизначеність та ймовірний розподіл.
70. Основа інформаційного забезпечення автоматизованих систем:
- а) банк даних;
  - б) база даних;
  - с) система управління базою даних.
71. Що таке проблема:
- а) задача, для якої немає методів розв'язання;

- b) задача, що розв'язується відомими методами;
  - c) задача, яка не має розв'язання.
72. Що таке проблематика:
- a) головна проблема;
  - b) множина проблем;
  - c) комплекс взаємозв'язаних проблем.
73. Хто може бути зацікавленою особою при визначенні проблеми:
- a) той, хто замовляє і сплачує за системний аналіз та засоби інформації;
  - b) особи, які не мають відношення до наслідків вирішення проблеми;
  - c) клієнт, особи, які приймають рішення, учасники, аналітики.
74. Як визначити межу для агрегування проблеми:
- a) вивчити проблемну ситуацію;
  - b) сформулювати бажаний стан, який відводить від незадовільної ситуації;
  - c) запросити експертів.
75. Яка основна причина повторювання процесу системного аналізу:
- a) цілі уточнюються, розширюються або змінюються;
  - b) існування множини цілей;
  - c) бажання покращення результатів.
76. Що таке критерій:
- a) найкраща альтернатива;
  - b) кількісна модель якісних цілей;
  - c) економічний показник.
77. Прийоми генерування альтернатив:
- a) формування суперкритерію;
  - b) пошук проблеми;
  - c) пошук у літературі та залучення експертів.
78. Що таке метод мозкового штурму:
- a) ідеї, висунуті однією групою аналізуються іншою групою;
  - b) напружена діяльність мозку;

- с) швидка відповідь на поставлені запитання.
79. Що таке метод розроблення сценаріїв:
- альтернативні описи того, що може відбутися у майбутньому;
  - щоденний запис подій;
  - редагування плану дій для замовника.
80. Що таке морфологічний аналіз:
- аналіз мовної моделі;
  - визначення впливу зовнішніх чинників;
  - генерування альтернатив перебором можливих поєднань змінних величин.
81. Що таке ділові ігри:
- робота над виконанням поточних планів;
  - моделювання реальних ситуацій;
  - ігри, що базуються на знаннях економіки.
82. Чи можливо створити універсальний алгоритм системного аналізу:
- у майбутньому;
  - так;
  - ні.
83. Мета агрегування прагматичної системи:
- вивчення середовища;
  - розширення бази загальних знань;
  - створення об'єкта.

Правильні відповіді: 1 – а; 2 – с; 3 – b; 4 – с; 5 – а; 6 – b; 7 – b; 8 – а; 9 – с; 10 – b; 11 – а; 12 – b; 13 – с; 14 – а; 15 – b; 16 – с; 17 – с; 18 – а; 19 – b; 20 – b; 21 – а; 22 – с; 23 – а; 24 – с; 25 – с; 26 – b; 27 – а; 28 – с; 29 – b; 30 – а; 31 – а; 32 – b; 33 – b; 34 – с; 35 – а; 36 – b; 37 – с; 38 – а; 39 – а; 40 – а; 41 – с; 42 – с; 43 – а; 44 – а; 45 – b; 46 – с; 47 – с; 48 – b; 49 – а; 50 – а; 51 – с; 52 – с; 53 – b; 54 – b; 55 – с; 56 – b; 57 – а; 58 – b; 59 – с; 60 – b; 61 – а; 62 – а; 63 – с; 64 – b; 65 – а; 66 – а; 67 – с; 68 – b; 69 – b; 70 – а; 71 – а; 72 – с; 73 – с; 74 – b; 75 – а; 76 – b; 77 – с; 78 – а; 79 – а; 80 – с; 81 – b; 82 – с; 83 – с.

## Список літератури

1. Акофф Р. Л. Системы, организация и междисциплинарные исследования / Р. Л. Акофф // Исследования по общей теории систем. – Москва : Прогресс, 1969. – С. 143–164.
2. Алексеев В. Е. Графы. Модели вычислений. Структуры данных / В. Е. Алексеев, В. А. Таланов. – Нижний Новгород : Издательство Нижегородского госуниверситета, 2004. – 291 с.
3. Алеманов С. Б. Волновая теория строения элементарных частиц / С. Б. Алеманов. – Москва : БИНАР, 2005. – 132 с.
4. Альтшулер Г. С. Алгоритм решения изобретательских задач / Г. С. Альтшулер. – Москва : Московский рабочий, 1973. – 268 с.
5. Anil K Join. Artificial Neural Networks: A Tutorial / Anil K Join, Jianchang Mao, K. M. Mohiuddin // Computer. – 1996, March. – Vol. 29, No. 3. – P. 31–44.
6. Ансельм А. И. Основы статической физики и термодинамики / А. И. Ансельм. – Москва : Наука, 1973. – 424 с.
7. Бекман И. Н. Синергизм и синергетика [Электронный ресурс] / И. Н. Бекман. – Режим доступа : [http://beckuniver.ucoz.ru/Kurs\\_Sinerget/Sinerg\\_Lec1.htm#1.2\\_Неравновесная\\_термодинамика\\_](http://beckuniver.ucoz.ru/Kurs_Sinerget/Sinerg_Lec1.htm#1.2_Неравновесная_термодинамика_).
8. Берже П. Порядок в хаосе. О детерминистском подходе в турбулентности / П. Берже, И. Помо, К. Видал. – Москва : Мир, 1991. – 368 с.
9. Бергаланфи Л. Общая теория систем – критический обзор / Л. Бергаланфи // Исследования по общей теории систем. – Москва : Прогресс, 1969. – С. 23–82.
10. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука. Часть 1 [Электронный ресурс] / А. А. Богданов. – 3-е изд. – Москва ; Ленинград : Книга, 1925. – 300 с. (1-е изд. 1913 г.). – Режим доступа : [http://www.e-reading.by/bookreader.php/81713/Bogdanov\\_Tektologiya\\_\(vseobshchaya\\_organizacionnaya\\_nauka\).html](http://www.e-reading.by/bookreader.php/81713/Bogdanov_Tektologiya_(vseobshchaya_organizacionnaya_nauka).html).
11. Гвишиани Д. М. Материалистическая диалектика – философская основа системных исследований / Д. М. Гвишиани // Системные исследования, методологические проблемы. – Москва : Наука, 1980. – С. 7–28.
12. Зыков А. А. Основы теории графов / А. А. Зыков. – Москва : Вузовская книга, 2004. – 664 с.
13. Карпуша В. Д. Вплив іонного бомбардування і шорсткості вихідної поверхні на оптичні параметри аморфних металевих сплавів / В. Д. Карпуша, У. С. Швець // ФІП. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 103–111.
14. Каширина И. Л. Искусственные нейронные сети / И. Л. Каширина. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2005. – 51 с.
15. Конті Т. Самооцінка у організаціях / Т. Конті // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – № 2 (17). – С. 66–71.
16. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1973. – 831 с.

17. Крайзмер Л. П. Кибернетика / Л. П. Крайзмер. – Москва : Экономика, 1977. – 280 с.
18. Ланге О. Целое и развитие в свете кибернетики / О. Ланге // Исследования по общей теории систем. – Москва : Прогресс, 1969. – С. 181–251.
19. Латыпов Юрий. Экосистема кораллового рифа / Ю. Латыпов // Наука в России. – 2008. – № 2. – С. 97–106.
20. Месарович М. Д. Общая теория систем и ее математические основы / М. Д. Месарович // Исследования по общей теории систем. – Москва : Прогресс, 1969. – С. 165–180.
21. Мозг человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_colier/3731/%D0%93%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%9E%D0%99](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/3731/%D0%93%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%9E%D0%99).
22. Мокрицкий Б. Я. Технологическая система резания как система преобразования входных параметров в выходные / Б. Я. Мокрицкий // Известия вузов. Серия Машиностроение. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1992. – № 4–6. – С. 102–108.
23. Наппельбаум Э. Л. Системный анализ как программа научных исследований – структура и ключевые понятия / Э. Л. Наппельбаум // Системные исследования, методологические проблемы. – Москва : Наука, 1980. – С. 55–77.
24. Неуймин Я. Г. Модели в науке и технике / Я. Г. Неуймин. – Ленинград : Наука, 1984. – 190 с.
25. Общая теория систем : сб. докладов. – Москва : Мир, 1966. – 188 с.
26. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – Киев : УМК ВО, 1989. – 152 с.
27. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – Москва : Высшая школа, 1989. – 367 с.
28. Садовский В. Н. Задачи, методы и приложения общей теории систем / В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин // Исследования по общей теории систем. – Москва : Прогресс, 1969. – С. 23–82.
29. Силин С. С. Метод подобия при резании металлов / С. С. Силин. – Москва : Машиностроение, 1979. – 152 с.
30. Сиразетдинов Т. К. Устойчивость систем с распределенными параметрами / Т. К. Сиразетдинов. – Новосибирск : Наука, 1987. – 231 с.
31. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление / сост. М. Сингх, А. Титли. – Москва : Машиностроение, 1986. – 496 с.
32. Теория систем, математические методы и моделирование : сб. статей. – Москва : Мир, 1989. – 384 с.
33. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем / А. И. Уемов. – Москва : Мысль, 1978. – 215 с.

34. Урманцев Ю. А. Общая теория систем: состояние, приложения и перспективы развития / Ю. А. Урманцев // Система, Симметрия, Гармония. – Москва : Мысль, 1988. – С. 38–124.
35. Fuller R. B. Synergetics. Explorations in the Geometry of Thinking / R. B. Fuller, E. J. Applewhite. – Published by Macmillan Publishing Co. Inc. 1975. – 1839 p.
36. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / Г. Хакен. – Москва ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. – 320 с.
37. Чорней Н. Б. Теорія систем і системний аналіз / Н. Б. Чорней., Р. К. Чорней. – Київ : МАУП, 2005. – 256 с.
38. Швец С. В. Системный анализ теории резания / С. В. Швец. – Сумы : СумГУ, 2009. – 212 с.
39. Швец У. С. Закономерность рассеивания значений спектральных зависимостей оптических параметров аморфных сплавов / У. С. Швец // Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami – 2011». – Przemysł : Nauka i studia, 2011. – S. 34–39.
40. Швець С. В. Основи системного підходу / С. В. Швець. – Суми : СумДУ, 2004. – 91 с.

Навчальне видання

**Швець** Станіслав Володимирович,  
**Швець** Уляна Станіславівна

# **ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки С. В. Швеця  
Редактор Н. В. Лисогуб  
Комп'ютерне верстання С. В. Швеця

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 7,44. Обл.-вид. арк. 5,35. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.



