

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 1. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	1
1.1 Предмет, історичний аспект виникнення й розвитку системного аналізу	1
1.2 Область використання системного аналізу	5
1.3 Сутність та принципи системного аналізу	6
1.4 Категорійний апарат системного аналізу	9
1.5 Класифікація систем	16
1.6 Дослідження проблемних ситуацій: поняття, основні ознаки, етапи дослідження, формалізація та декомпозиція	22
1.7 Застосування системного аналізу в практичній діяльності фахівця комп'ютерних наук. Системний аналіз в проектуванні інформаційних та програмних систем, забезпеченні інформаційної безпеки	27

Лекція 1. Методологічні основи системного аналізу

Мета лекції: сформувати у студентів уявлення про системний аналіз, системний підхід, основні поняття, принципи, категорійний апарат та область використання системного аналізу; розглянути класифікацію та властивості систем; ознайомитись із процесом проведення дослідження проблемних ситуацій.

План лекції

- 1.1 Предмет, історичний аспект виникнення й розвитку системного аналізу.
- 1.2 Область використання системного аналізу.
- 1.3 Сутність та принципи системного аналізу.
- 1.4 Категорійний апарат системного аналізу.
- 1.5 Класифікація систем.
- 1.6 Дослідження проблемних ситуацій: поняття, основні ознаки, етапи дослідження, формалізація та декомпозиція.
- 1.7 Застосування системного аналізу в практичній діяльності фахівця комп'ютерних наук. Системний аналіз в проектуванні інформаційних та програмних систем, забезпеченні інформаційної безпеки.

Перелік ключових термінів і понять з теми: системний аналіз; об'єкт, предмет, принципи системного аналізу; система; мета; елемент; підсистема; зв'язок; ціле; модель; складність; види складності; види систем; властивості систем; проблемна ситуація; постановка задачі; ситуація.

1.1 Предмет, історичний аспект виникнення й розвитку системного аналізу

Системний аналіз як науковий напрям сформувався у відповідь на об'єктивні потреби суспільства в дослідженні та керуванні складними об'єктами, які неможливо адекватно описати традиційними методами [1, 2]. Щоб зрозуміти сутність цієї дисципліни, необхідно розглянути її предмет, простежити історичну траєкторію становлення та окреслити сучасні сфери застосування.

Витоки системного мислення можна знайти ще в античній філософії, проте як окремий науковий напрям системний аналіз почав формуватися лише в середині ХХ ст. Його виникнення було зумовлене кількома факторами [1, 3]:

- стрімке ускладнення технічних та організаційних систем у період Другої світової війни та після неї створило потребу в нових методах керування;
- розвиток обчислювальної техніки надав інструменти для моделювання складних процесів;
- науковий прогрес у різних галузях продемонстрував обмеженість редуцціоністського підходу при вивченні складних об'єктів.

Поряд з цим, до *основних причин виникнення та розвитку системного аналізу* традиційно відносять:

- розвиток наукового знання та його застосування до практичної діяльності, особливо середини ХХ ст., призвело до дедалі більшої диференціації наукових та прикладних напрямів; виникло багато спеціальних дисциплін, які часто використовують подібні формальні методи, але істотно заломлюють їх з урахуванням потреб конкретних додатків, що спричинило виникнення безлічі труднощів і складнощів при дослідженні та вирішенні виниклих проблем;
- у ХХ ст. спостерігається різке збільшення кількості комплексних проектів та проблем, що вимагають участі фахівців різних галузей знань, а розвиток вузькоспеціальних дисциплін почав виходити на узагальнюючий рівень;
- системність об'єкта, середовища та природи в цілому.

При цьому системний аналіз є досить молодим напрямом у наукових дослідженнях (розвиток системних уявлень зображено на рис. 1.1). Так, у 30-ті роки ХХ ст. виник узагальнюючий напрямок, названий *загальною теорією систем*, основоположником якої вважається Людвіг фон Берталанфі [4, 5]. Важливий внесок у становлення системних уявлень у науці зробив на початку ХХ ст. (ще до Л. фон Берталанфі) А.А. Богданов.

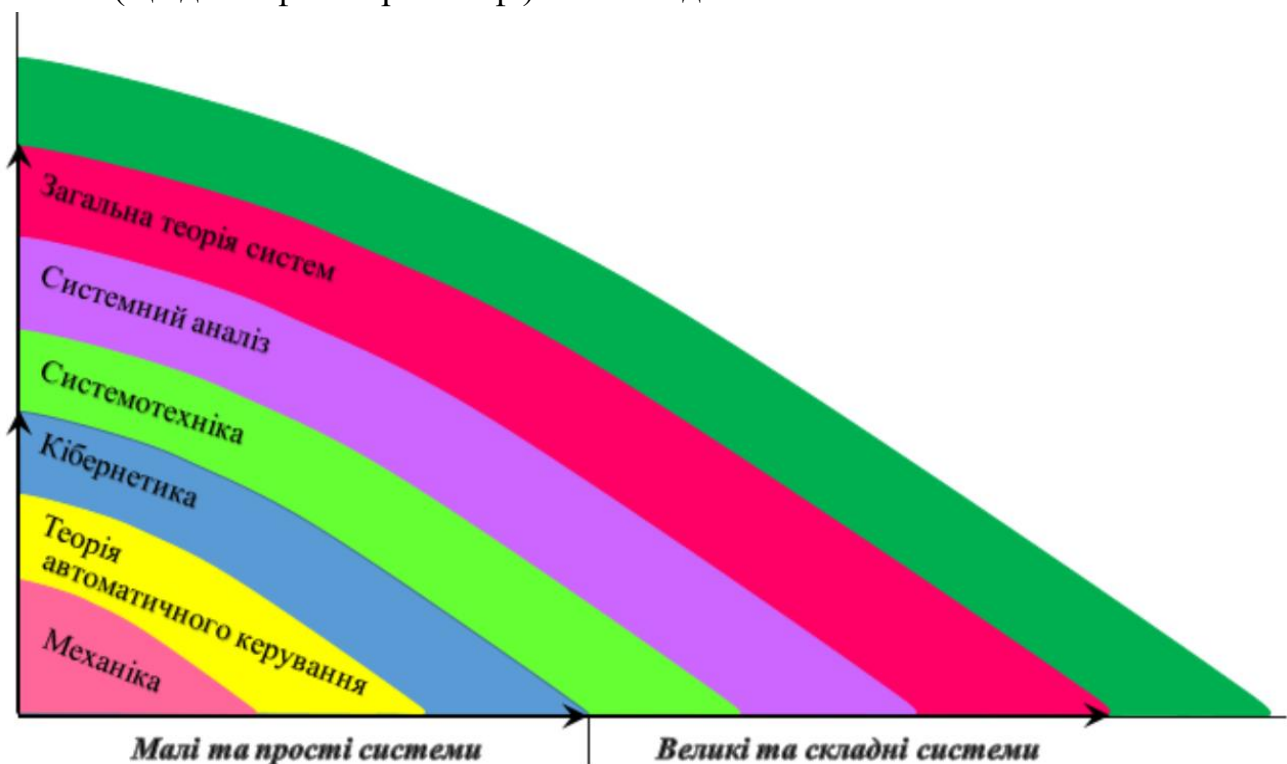


Рисунок 1.1 – Розвиток системних уявлень

В даний час існує великий напрямок *теорії систем і системного аналізу*, який розвиває концептуальні основи, відпрацьовує термінологічний апарат, досліджує закономірності функціонування та розвитку складних системних об'єктів і займається іншими проблемами, пов'язаними з загальнонауковим і системними дослідженнями [5-7].

У різних сферах практичної діяльності підходи та методи системного аналізу, їх теоретичні основи мали різні назви. Так, у 50-60-ті роки ХХ ст. при постановці та дослідженні складних проблем проектування та керування досить широке поширення набув термін *системотехніка*. Стосовно задач *керування* певний період використовувався широко термін *кібернетика*, введений М. А. Ампером, набувши широкого поширення після виходу в 1948 р. книги Н. Вінера та застосований в проектуванні технічних об'єктів, у тому числі автоматизованих систем.

Найбільш конструктивним з прикладних напрямків системних досліджень в даний час вважається *системний аналіз*, який виступає спорідненим до системотехніки напрямом, але зазвичай розуміється ширше, охоплюючи нетехнічні питання проектування, організації та керування.

Роботи із системного аналізу відрізняються тим, що в них завжди:

- пропонується методика проведення дослідження, організації процесу прийняття рішення,
- робиться спроба виділити етапи дослідження чи прийняття рішення,
- пропонуються підходи до виконання цих етапів у конкретних умовах.

Крім того, у цих роботах завжди приділяють особливу увагу роботі з цілями системи:

- їх виникненню;
- формулюванню;
- деталізації (декомпозиції, структуризації);
- аналізу та іншим питанням цілеутворення (цілепокладання).

Часто при визначенні системного аналізу наголошують, що це є методологією дослідження складних систем [3, 5, 7]. При цьому розробка методики та вибір методів та прийомів виконання її етапів базуються на системних уявленнях, на використанні закономірностей, класифікацій та інших результатів, одержаних *теорією систем*.

Термін «системний аналіз» вперше виник у роботах корпорації RAND у зв'язку з задачами зовнішнього керування 1948 р.

З урахуванням всього вище зазначеного, даючи визначення системного аналізу, потрібно відображати в ньому, що *системний аналіз*:

- застосовується для вирішення таких проблем, які не можуть бути поставлені та вирішені окремими методами математики (тобто проблем із невизначеністю ситуації прийняття рішення);
- використовує як формальні методи, так і методи якісного аналізу, тобто методи, спрямовані на активізацію використання інтуїції та досвіду спеціалістів (осіб, що приймають рішення);
- поєднує різні методи за допомогою єдиної методики;
- дає можливість об'єднати знання, судження та інтуїцію фахівців різних галузей знань та зобов'язує їх до певної дисципліни мислення;
- основну увагу приділяє цілям та цілеутворенню.

Отже, *системний аналіз* – це методологія дослідження та проектування складних систем, пошуку, планування та реалізації підходів та методів, спрямованих на вирішення проблемних ситуацій.

Об'єктом системного аналізу виступають реальні об'єкти будь-якої природи (великі та складні системи, які є одночасно відкритими (взаємодіючими із зовнішнім середовищем) та до складу яких входить людський фактор) і суспільства, що розглядаються як системи. Тобто системний аналіз передбачає спочатку системне бачення об'єкта.

До **предмету системного аналізу** входять різноманітні характеристики системності, найбільш важливими серед яких є наступні:

- *склад системи* (типологія і чисельність елементів, залежність елемента від його місця і функцій в системі, види підсистем, їх властивості, вплив на властивості цілого);
- *структура системи* (типологія і складність структури, різноманіття зв'язків, прямі і зворотні зв'язки, ієрархічність структури, вплив структури на властивості та функції системи);
- *організація системи* в часовому і просторовому аспектах (типологія організації, композиція системи, стійкість, гомеостат, керованість, централізація і периферійність, оптимізація організаційної структури);
- *функціонування системи* (цілі системи та їх декомпозиція, вид функції (лінійна, нелінійна, внутрішня, зовнішня), поведінка в умовах невизначеності, в критичних ситуаціях, механізм функціонування, узгодження внутрішніх і зовнішніх функцій, проблема оптимальності функціонування та перебудови функцій);
- *положення системи в середовищі* (межі системи, характер середовища, відкритість, рівновагу, стабілізація, збалансованість, механізм взаємодії системи і середовища, адаптація системи до середовища, фактори і впливи середовища);
- *розвиток системи* (місія, системоутворюючі чинники, життєвий шлях, етапи та джерела розвитку, процеси в системі – інтеграція та дезінтеграція, динаміка, ентропія або хаос, стабілізація, кризовість, самовідновлення, перехідність, випадковість, інноваційність і перебудова).

Основу методології системного аналізу також становить *системний підхід*, для якого визначальним є уявлення про цілісність досліджуваних, проєктованих та синтезованих об'єктів [6].

Методологічно *системний аналіз спрямовано* на дослідження причин складності систем та їх усунення.

Системний аналіз є міждисциплінарною наукою, що об'єднує як неформальні евристичні, так і математичні методи. Причому в методиці системного аналізу поєднуються як формальні методи та моделі, так і методи активізації інтуїції фахівців, що допомагають використовувати їх знання та досвід та розвивати модель досліджуваного об'єкта чи процесу.

Ці особливості зумовлюють особливу привабливість системного аналізу на дослідження складних систем.

Основними завданнями системного аналізу є об'єднання:

- математичних та неформальних методів аналізу;
- строгих способів дослідження формалізованих моделей з експериментом;
- евристичних методів з експертними знаннями.

Системний аналіз надає до використання у різних науках, системах наступні *методи та процедури:*

- абстрагування та конкретизація;
- аналіз та синтез;
- індукція та дедукція;
- формалізація;
- структурування;
- макетування;
- алгоритмізація;
- моделювання;
- експертне оцінювання та тестування;
- інші методи та процедури.

Технічними засобами системного аналізу є сучасна комп'ютерна техніка та інформаційні системи.

Таким чином, системний аналіз є потужним методологічним інструментом, який дозволяє досліджувати та керувати складними системами в умовах сучасного світу. Його історичний розвиток відображає зростаючу складність завдань, що постають перед людством. Розуміння ж предмета, історії та областей використання системного аналізу є необхідним фундаментом для подальшого вивчення конкретних методів та інструментів цієї важливої дисципліни.

1.2 Область використання системного аналізу

Універсальність системного підходу зумовила широке застосування системного аналізу в найрізноманітніших сферах людської діяльності [2-5, 7-14].

У технічній галузі системний аналіз використовується для проектування складних технічних комплексів – від космічних апаратів до інформаційних систем. Він дозволяє врахувати взаємодію численних підсистем, оптимізувати параметри та забезпечити надійність функціонування. При проектуванні інформаційних систем системний підхід виявляє свою особливу ефективність, оскільки сучасні програмні продукти являють собою багаторівневі, багатокомпонентні системи, що функціонують у динамічному середовищі та мають складні взаємозв'язки як між внутрішніми елементами, так і із зовнішніми системами.

В економіці та менеджменті системний аналіз застосовується для стратегічного планування діяльності підприємств, аналізу ринків, оптимізації бізнес-процесів. Він надає інструментарій для моделювання економічних систем різного масштабу – від окремих компаній до національних та світової

економік, дозволяючи розглядати будь-який об'єкт з великим діапазоном внутрішніх та зовнішніх причинно-наслідкових зв'язків. Методи системного аналізу допомагають виявляти ключові фактори конкурентоспроможності, прогнозувати розвиток ситуації, обґрунтовувати управлінські рішення.

У сфері державного управління системний аналіз використовується для розробки та оцінювання політик у різних галузях – від охорони здоров'я до транспортної інфраструктури. Він дозволяє врахувати множинність цілей, інтереси різних груп населення, обмеженість ресурсів та довгострокові наслідки рішень. Особливо важливим є застосування системного аналізу в екологічній політиці, де необхідно балансувати економічні та екологічні інтереси.

Екологія та управління природними ресурсами становлять ще одну важливу область застосування системного аналізу. Екосистеми є класичним прикладом складних систем із численними зворотними зв'язками та нелінійними ефектами. Системний аналіз допомагає моделювати динаміку екосистем, оцінювати вплив людської діяльності, розробляти стратегії сталого природокористування.

У соціальній сфері системний аналіз застосовується для дослідження урбанізації, демографічних процесів, освітніх систем, охорони здоров'я. Він дозволяє виявляти системні проблеми, які не можуть бути вирішені локальними заходами, та розробляти комплексні програми соціального розвитку.

Військова справа історично залишається важливою сферою застосування системного аналізу. Тут він використовується для оцінювання загроз, планування оборонних систем, аналізу конфліктних ситуацій.

Наука та освіта також активно використовують системний підхід для організації наукових досліджень, проектування освітніх програм, управління університетами.

Таким чином, широта застосування системного аналізу свідчить про універсальність системного підходу.

1.3 Сутність та принципи системного аналізу

Оскільки системний аналіз виник в епоху розроблення комп'ютерної техніки то успіх його застосування під час вирішення складних задач загалом визначається сучасними можливостями інформаційних технологій [15].

Згідно визначення *системний аналіз* – це методологія, що базується на використанні інформаційних технологій і орієнтованих на дослідження складних систем будь-якої фізичної природи.

Результатом системних досліджень, як правило, є вибір оптимальної з визначених альтернатив: плану розвитку регіону, параметрів конструкції тощо. Тому витоки системного аналізу, його методичні концепції знаходяться у тих дисциплінах, які займаються проблемами прийняття рішень [6, 8]: теорія прийняття рішень, теорія дослідження операцій, загальна теорія систем, системологія.

Основними рисами системного аналізу є наступні:

- системний аналіз пов'язаний з вибором оптимального рішення з багатьох можливих альтернатив,
- кожна альтернатива оцінюється з позиції тривалої перспективи,
- системний аналіз розглядається як методологія поглибленого з'ясування (розуміння) і впорядкування (структуризації) проблеми,
- загострюється інтуїція фахівців.

Отже, **системний аналіз** – науковий метод пізнання, який являє собою послідовність дій з установлення структурних зв'язків між змінними чи елементами досліджуваної системи, спираючись на комплекс загальнонаукових (аналіз, синтез, індукція, дедукція, абстрагування, моделювання), експериментальних, природно-наукових, статистичних, математичних методів.

Розгляд категорій системного аналізу створює основу для логічного і послідовного підходу до розв'язання **проблеми прийняття рішень**. Ефективність вирішення проблем за допомогою системного аналізу визначається структурою вирішуваних проблем.

Усі **проблеми поділяються на три класи**:

- 1) добре структуровані (*well-structured*), або кількісно сформульовані проблеми, в яких істотні залежності з'ясовані дуже добре;
- 2) неструктуровані (*unstructured*), або якісно виражені проблеми, що містять лише опис важливих ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими зовсім невідомі;
- 3) слабоструктуровані (*ill-structured*), або змішані проблеми, які містять як якісно й кількісно виміряні елементи, так і маловідомі, невизначені сторони, які мають тенденцію домінувати.

Необхідні **атрибути системного аналізу** як наукового знання:

- 1) наявність предметної сфери – системи і системні процедури;
- 2) виявлення, систематизація, опис загальних властивостей і атрибутів систем;
- 3) виявлення й опис закономірностей та інваріантів у цих системах;
- 4) актуалізація закономірностей для вивчення систем, їх поведінки і зв'язків з навколишнім середовищем;
- 5) накопичення, зберігання, актуалізація знань про системи (комунікативна функція).

Системний аналіз базується на **загальних принципах**. Розглянемо їх докладно.

Принцип дедуктивної послідовності – послідовного розгляду системи за етапами: від оточення і зв'язків із цілим до зв'язків частин цілого (див. етапи системного аналізу докладніше нижче).

Принцип мети – орієнтує на те, що під час дослідження об'єкта необхідно перш за все виявити мету його функціонування. Принцип мети конструктивний за дотримання двох умов:

- мета повинна бути сформульована так, щоб ступінь її досягнення можна було оцінити (задати) кількісно;

- у системі повинен бути механізм, що дозволяє оцінити ступінь досягнення заданої мети.

Невизначеність вибору мети пов'язана з наявністю в складних системах множини цілей та множини критеріїв, а також, можливо, насамперед із невизначеністю динаміки зовнішньої середовища. Невизначеність у передбаченні стану зовнішнього середовища необхідно обов'язково враховувати при формуванні сукупності цілей та розробці способів їхнього досягнення. На невизначеність вибору також впливає дотримання індивідів принципом «достатньої раціональності» Саймона.

Принцип узгодження ресурсів і цілей розгляду, актуалізації системи.

Принцип безконфліктності – відсутність конфліктів між частинами цілого, цілей цілого і частин, що призводять до конфлікту.

Принцип подвійності – впливає з принципу мети й означає, що система повинна розглядатися як частина системи більш високого рівня і в той же час як самостійна частина, що виступає як єдине ціле у взаємодії з середовищем. У свою чергу, кожен елемент системи володіє власною структурою і також може розглядатися як система. Взаємозв'язок із принципом мети полягає в тому, що мета функціонування об'єкта повинна бути підпорядкована вирішенню задач функціонування системи більш високого рівня. Мета – категорія зовнішня по відношенню до системи. Вона ставиться їй системою більш високого рівня, куди ця система входить як елемент.

Принцип цілісності – вимагає розглядати об'єкт як щось виділене з сукупності інших об'єктів, що є цілим по відношенню до навколишнього середовища, має свої специфічні функції і розвивається за властивими йому законами. При цьому не заперечується необхідність вивчення окремих сторін.

Принцип складності – вказує на необхідність дослідження об'єкта, як складного утворення і, якщо складність дуже висока, вимагає послідовно спрощувати представлення об'єкта так, щоб зберегти всі його істотні властивості.

Принцип множинності – вимагає від дослідника подавати опис об'єкта на множині рівнів: морфологічному, функціональному, інформаційному.

Принцип історизму – зобов'язує дослідника розкривати минуле системи і виявляти тенденції та закономірності її розвитку в майбутньому.

Принцип невизначеності – є одним з основних принципів системного підходу. Досить типовими є випадки, коли задачі необхідно вирішувати при неповноті чи нечіткості знань щодо досліджуваної системи, що має місце внаслідок як обмежених можливостей науки на даному рівні її розвитку, так і принципової обмеженості людського пізнання, а часто просто виявляється неможливістю отримати скільки-небудь достовірну інформацію про майбутнє, передбачити всі можливі варіанти зміни навколишнього середовища. У кращому випадку можуть бути отримані ймовірні оцінки прогнозованих ситуацій, якщо ці оцінки існують об'єктивно. Врахування невизначеностей та випадковостей можливе за допомогою методу гарантійного результату, за допомогою статистичних оцінок (якщо умови для цього існують), а також шляхом уточнення, розширення сукупності цілей та ін.

1.4 Категорійний апарат системного аналізу

Категорійний апарат системного аналізу – це набір ключових понять (категорій), таких як *система*, *елемент*, *структура*, *зв'язок*, *ціле*, *функція* та ін., які є методологічною основою для дослідження об'єктів як цілісних комплексів із взаємопов'язаними частинами, дозволяючи перейти від аналізу окремих компонентів до розуміння властивостей цілого та його функціонування.

Поняття «системний» використовується тому, що дослідження такого роду в основі будується на використанні категорії системи.

Розглянемо основні категорії системного аналізу [1-3, 6].

1. Поняття «система»: виникнення та еволюція визначення.

Поняття «система» є центральним в системному аналізі та використовується у тих випадках, коли потрібно охарактеризувати досліджуваний або проєктований об'єкт як щось ціле (єдине), складне, про яке неможливо відразу дати уявлення, показавши його, зобразивши графічно або описавши математичним виразом (формулою, рівнянням, тощо).

Існує кілька визначень поняття *система*.

Найбільш поширеним є наступне: *система* – це сукупність взаємопов'язаних елементів, що утворюють єдине ціле і функціонують для досягнення певної мети.

Аналіз показує, що визначення поняття *система* змінювалися не лише за формою, а й за змістом. Розглянемо основні та важливі зміни, що відбувалися з визначенням системи з розвитком системного аналізу та використання цього поняття на практиці.

Так, в перших визначеннях в тій чи іншій формі говорилося, що *система* – це множина елементів (компоненти, частини) a_i та множина зв'язків (відношень) r_j між ними:

$$S \stackrel{def}{=} \langle \{a_i\}, \{r_j\} \rangle, \quad a_i \in A, \quad r_j \in R \quad \text{або} \quad S \stackrel{def}{=} \langle A, R \rangle,$$

де $A = \{a_i\}$, $R = \{r_j\}$.

Л. фон Бергаланфі визначав *систему* як «комплекс взаємодіючих компонентів» або як «сукупність елементів, що знаходяться в певних відносинах один з одним і з середовищем».

В енциклопедії *система* визначається прямим перекладом з грецької, що означає «склад», тобто, складене, з'єднане із елементів.

При цьому терміни «*елементи*» – «*компоненти*», «*зв'язки*» – «*відношення*» зазвичай використовуються як синоніми. Проте, строго кажучи, «компоненти» – поняття загальніше, ніж «елементи», тобто, воно може означати і елемент, і підсистему або інше утворення з елементів: щодо понять «*зв'язок*» і «*стан*» існують різні точки зору: одні дослідники вважають «*зв'язок*» окремим випадком відношення, інші – відношення вважають окремим випадком зв'язків, треті – пропонують поняття зв'язок застосовувати до статистики системи, до її структури, а поняттям «*стан*» характеризувати деякі

дії у процесі функціонування (динаміки) системи. Тому в різних визначеннях і використовувалися різні терміни, що допомагають їх авторам уточнювати конкретні характеристики систем, які розглядаються ними: наявність у них складових (компонентів) різної складності, статику або динаміку системи і т.ін.

Якщо відомо, що елементи є принципово неоднорідними, це можна відразу врахувати у визначенні, виділивши множину $A = \{a_i\}$ і множину $B = \{b_k\}$:

$$S \underset{def}{=} \langle A, B, R \rangle.$$

Якщо відношення r_j застосовуються тільки до елементів різних груп (множин) і не повинні використовуватися всередині множин A і B , то в символічній формі це також нескладно відобразити у вигляді:

$$S \underset{def}{=} \langle \{a_i r_j b_k\} \rangle,$$

де $\{a_i r_j b_k\}$ – компоненти системи, утворені з елементів вихідних множин A і B (форма такого виду називається в лінгвістиці **синтагмою**);

$$a_i \in A, \quad b_k \in B, \quad r_j \in R.$$

У визначенні М. Месаровича, наприклад, виділено множину X вхідних об'єктів (що впливають на систему) та множину Y вихідних об'єктів (результатів), при цьому між ними встановлено узагальнююче відношення перетину:

$$S \subseteq X \times Y \quad \text{або} \quad S \subseteq X \cap Y.$$

Для уточнення елементів та зв'язків у визначеннях згадують про властивості.

Так, у визначенні А. Холла властивості (атрибути) Q_A доповнюють поняття елемента (предмета)

$$S \underset{def}{=} \langle A, Q_A, R \rangle,$$

а А. І. Уємов дає двоїсті визначення системи, в одному з яких властивості q_i характеризують елементи a_i , а в іншому – властивості q_j характеризують зв'язки r_j :

$$S \underset{def}{=} [\{a_j\} \cap \{r_j(q_j)\}], \quad a_i \in A, \quad r_j \in R, \quad q_j \in Q_R;$$

$$S \underset{def}{=} [\{a_i(q_i)\} \cap \{r_j\}], \quad a_i \in A, \quad q_i \in Q_A, \quad r_j \in R.$$

Потім у визначеннях системи утворюється поняття *мети*. Спочатку – у неявному вигляді: у визначенні Ф.Є. Темникова **система** – організована множина (у якій мета виникає при розкритті поняття «організоване»); у філософському словнику **система** – «сукупність елементів, що у відносинах і зв'язках між собою утворюють певну цілісну єдність». Потім – у вигляді кінцевого результату, системоутворюючого критерію, а пізніше – і з явною згадкою про мету. Символьно цю групу визначень представимо так:

$$S \underset{def}{=} \langle A, R, Z \rangle,$$

де Z – сукупність (або структура) цілей.

Наприклад, у визначенні В. М. Саратовського (яке буде покладено основою однієї з методик структуризації цілей) **система** – «кінцева множина функціональних елементів і відношень з-поміж них, виділена з середовища відповідно до певної мети у межах певного часового інтервалу T », тобто

$$S \underset{def}{=} \langle A, R, Z, T \rangle.$$

І, нарешті, у 70-ті роки ХХ ст. до визначення системи (поряд із елементами, зв'язками, їх властивостями і цілями) почали включати **спостерігача** N , тобто, особу, що представляє об'єкт або процес у вигляді системи при їх дослідженні чи прийнятті рішення:

$$S \underset{def}{=} \langle A, R, Z, N \rangle.$$

На необхідність урахування взаємодії між дослідником та системою, що вивчається, вказав У.Р. Ешбі. Перше визначення, у якому явно включений спостерігач, дав Ю.І. Черняк: «**Система** є відображення у свідомості суб'єкта (дослідника, спостерігача) властивостей об'єктів та його відношення у вирішенні задач дослідження, пізнання». В інших варіантах визначень згадуються задача проектування, експлуатації, керування, а в деяких і мова G спостерігача (вибраний ним метод моделювання), за допомогою якого він відображає об'єкт або процес прийняття рішення. Тоді

$$S \underset{def}{=} \langle A, R, Z, N, G \rangle,$$

де G – множина методів дослідження.

У визначеннях системи буває і більше складових, але це пов'язано з диференціацією в конкретних умовах видів елементів, відношень між ними.

Зіставляючи еволюцію визначення поняття системи (елементи і зв'язок, потім – мета, потім – спостерігач) і еволюцію використання категорій теорії пізнання у дослідницької діяльності, можна знайти подібність: останнім часом з організацією процесу пізнання, поруч із об'єктами вивчення, їх властивостями і відношеннями (зв'язками) між елементами, все більшу увагу починають приділяти суб'єкту, «спостерігачеві», що проводить експеримент, що виявляє особливості досліджуваного об'єкта.

Визначення поняття системи пов'язані з розвитком теорії систем та системології, в рамках яких використовуються такі **рівні абстрактного опису**:

- символічний або лінгвістичний;
- теоретико-множинний;
- абстрактно-алгебраїчний;
- топологічний;
- логіко-математичний;
- теоретико-інформаційний;
- динамічний;
- евристичний.

Поняття «система» і «структура» ототожнювати не можна. Якщо під *структурою* слід розуміти мережу взаємозв'язаних елементів, якісна природа яких не враховується і головна увага спрямована на їх зв'язок, то під *системою* розуміють об'єкт у цілому зі всіма властивими йому внутрішніми і зовнішніми зв'язками і властивостями.

Кажучи про систему, ми перш за все підкреслюємо цілісний характер матеріального об'єкта, в якому головна увага спрямована на якісну специфіку елементів.

2. Поняття «зв'язок»: сутність, особливості трактування, види.

Найбільше смислове навантаження в системному аналізі відводиться поняттю «*зв'язок*», як відношенню між елементами або між елементами та середовищем.

Виявлення зв'язків дозволяє пізнавати предмети не безпосередньо, а через інші предмети, що знаходяться з ними в тому або іншому зв'язку.

Одним з шляхів трактування поняття «зв'язок» є складання *емпіричної класифікації можливих зв'язків у будь-якій системі*:

- *зв'язки взаємодії* (координації), серед яких можна розрізнити *зв'язки властивості* (такі зв'язки фіксуються, наприклад, у формулах фізики типу $pv = \text{const}$) і *зв'язку об'єктів* (наприклад, зв'язки між окремими нейронами в тих або інших нервово-психічних процесах). Особливий вид зв'язків взаємодії становлять зв'язки між окремими людьми, а також між людськими колективами або соціальними системами. Специфіка цих зв'язків полягає в тому, що вони опосередковують цілями, які переслідує кожна зі сторін взаємодії. В рамках цього типу зв'язків можна розрізнити *кооперативні* й *конфліктні зв'язки*. Необхідно зазначити, що зв'язки взаємодії становлять найбільш широкий клас зв'язків, що так або інакше проявляється у всіх інших типах зв'язків;
- *зв'язки породження* (генетичні), коли один об'єкт є підставою, що викликає до життя інший (наприклад, зв'язок типу «*A* батько *B*»);
- *зв'язки перетворення*, серед яких можна розрізнити: *зв'язки перетворення*, що реалізуються через певний об'єкт, що забезпечує це перетворення (така функція притаманна хімічним каталізаторам), і *зв'язки перетворення, що реалізуються шляхом безпосередньої взаємодії двох або більше об'єктів*, у процесі якої ці об'єкти окремо або разом переходять з одного стану в інший (наприклад, взаємодія організмів і середовища в процесі видоутворення);
- *зв'язки будови* (структурні зв'язки);
- *зв'язки функціонування*, що забезпечують реальну життєдіяльність об'єкта або його роботу, якщо мова йде про технічну систему. У найзагальнішому вигляді зв'язки функціонування можна підрозділити на *зв'язки станів* (коли наступний за часом стан є функцією від попереднього) і *зв'язки енергетичні, трофічні, нейронні, інформаційні*;

- зв'язки розвитку, які можна розглядати як модифікацію функціональних зв'язків станів, з тією різницею, що розвиток істотно відрізняється від простої зміни станів;
- зв'язки керування, які залежно від їх конкретного вигляду можуть утворювати різновид функціональних зв'язків або зв'язків розвитку.

Особливу увагу звертаємо на наступні **три види зв'язків**:

- **рекурсивний зв'язок** – необхідний зв'язок між явищами та об'єктами, при якому зрозуміло, де причина і де наслідки;
- **синергетичний зв'язок** визначається як зв'язок, який при сумісних діях незалежних елементів системи забезпечує збільшення їх загального ефекту до значення, більшого, ніж сума ефектів цих елементів, що діють незалежно. Саме із синергетичних зв'язків випливають **інтегральні (емерджентні) властивості**, тобто властивості цілісної системи, які не властиві елементам, що складають її і розглядаються поза системою;
- **циклічний зв'язок** – складний зворотний зв'язок.

Система як єдине ціле існує саме завдяки зв'язкам між її елементами, тобто, іншими словами, зв'язки виражають закони функціонування системи.

Зв'язки розрізняють за характером взаємозв'язку як *прямі та зворотні*, а по виду проявів (опис) як детерміновані та імовірнісні.

Прямі зв'язки призначені для заданої функціональної передачі речовини, енергії, інформації або їх комбінацій – від одного елемента до іншому у напрямі основного процесу.

Зворотні зв'язки, в основному, виконують функції, що поінформовують, відображаючи зміну стану системи в результаті дії управителя на неї. Відкриття принципу зворотний зв'язок стало видатною подією у розвитку техніки та мало виключно важливі наслідки.

Процеси керування, адаптації, саморегулювання, самоорганізації, розвитку неможливі без використання зворотних зв'язків. Так, за допомогою зворотного зв'язку сигнал (інформація) з виходу системи (об'єкта керування) передається до органу керування. Тут цей сигнал містить інформацію про роботу, виконану об'єктом керування, порівнюється з сигналом, що задає вміст та обсяг роботи (наприклад, план). У разі виникнення неузгодженості між фактичним та плановим станом роботи вживаються заходи щодо його усунення.

Основними функціями зворотного зв'язку є:

- протидія тому, що робить сама система, коли вона виходить за встановлені межі (наприклад, реагування зниження якості);
- компенсація збурень та підтримання стану стійкої рівноваги системи;
- синтезування зовнішніх та внутрішніх збурень, що прагнуть вивести систему зі стану стійкої рівноваги, зведення цих збурень до відхилень однієї чи кількох керованих величин (наприклад, вироблення керуючих команд на одночасну появу нового конкурента та зниження якості продукції, що випускається);
- вироблення керуючих впливів на об'єкт.

3. Поняття «елемент»: базове визначення та сутність.

Поняття «елемент» є однією з фундаментальних категорій системного аналізу, що лежить в основі розуміння структури та організації будь-якої системи. Елемент разом із поняттями системи, зв'язку та структури утворює концептуальний каркас системного підходу. Проте за своєю кажучою простотою це поняття приховує значну методологічну глибину та неоднозначність, яка потребує ретельного розгляду.

В найзагальнішому розумінні *елемент* – це частина системи, що розглядається як неподільна в рамках конкретного дослідження. Це остання одиниця декомпозиції, далі якої аналіз не проводиться або втрачає сенс у контексті поставленої задачі. Елемент є носієм певних властивостей та функцій, що необхідні для забезпечення цілісності та функціонування системи.

Важливо усвідомлювати, що елемент – це не абсолютна, а відносна категорія. Те, що в одному дослідженні розглядається як неподільний елемент, в іншому може бути складною системою, що потребує детального аналізу. Наприклад, у системному аналізі університету окремих факультет може розглядатися як елемент. Але якщо об'єктом дослідження стає сам факультет, то він перетворюється на систему, елементами якої виступають кафедри, лабораторії, адміністративні підрозділи.

Ця відносність елемента відображає один з центральних принципів системного аналізу – *принцип масштабування* або *змінності рівня розгляду*. Дослідник свідомо обирає той рівень деталізації, який є адекватним для розв'язання конкретної проблеми. Занадто детальний аналіз може привести до втрати бачення цілого, тоді як надмірне укрупнення елементів не дозволить виявити суттєві закономірності.

4. Інші категорії системного аналізу.

«Середовище» – це сукупність всіх об'єктів, зміна яких впливає на систему, а також об'єктів, що змінюються під дією системи, або сукупність об'єктів, що не входять до системи, але взаємодіють з нею.

«Структура» – спосіб організації зв'язків між елементами системи. Структура характеризує стійку впорядкованість у просторі і часі елементів системи та їх зв'язків. Структура відтворює найсуттєвіші зв'язки між елементами та підсистемами, що мало змінюються при змінах у системі та забезпечують існування як системи, так і найважливіших її властивостей. Для визначення структури системи необхідно провести її послідовну декомпозицію, тобто виокремити в ній підсистеми всіх рівнів, які доступні аналізу, та їхні елементи, котрі відповідно до завдань дослідження не поділяються на складові частини. Найважливішим завданням декомпозиції є спрощення системи, що є надто складною для розгляду та дослідження. Завдяки ієрархічності структура складних систем може бути подана через структуру їх частин – від підсистем до елементів.

«Мета» – відображає призначення системи й конкретизується цілями.

Аналіз цілей: при виборі сукупності цілей необхідно передбачити низку оцінок, у тому числі:

- перевірку цілей на реалізованість, виявлення перешкод на шляху досягнення цілей: економічних, технічних, соціальних та ін.;
- оцінку зв'язків цілей нижнього рівня ієрархії з цілями більш високого рівня;
- оцінку несуперечності (в загальному випадку характеру та ступеня суперечливості) цілей кожному рівні;
- оцінку семантичної точності формулювань цілей, зрозумілих усім індивідам, що стосуються мети; використання прийнятих визначень та позначень.

«**Структура**» – сукупність стійких зв'язків та відношень між елементами системи, що забезпечує її цілісність.

«**Структура**» **мети** – представляє собою дерево цілей, які поділяються на тактичні, макроцілі та ідеали.

«**Організація**» – внутрішня впорядкованість елементів цілого, а також сукупність процесів, що ведуть до встановлення взаємозв'язків між окремими частинами системи.

Організацію можна розцінювати в якості:

- просторової, для якої властиво просторове положення елементів;
- часової, тобто часової упорядкованості елементів системи;
- структурної, яка відрізняється структурними особливостями;
- цільової, що являє собою цільову впорядкованість системи;
- функціональної, для якої властива певна впорядкованість у функціонуванні елементів, що забезпечує функціонування системи.

Категорія «**ціле**» є однією з найбільш філософськи глибоких і методологічно значущих концепцій системного аналізу. Якщо елемент представляє аналітичний, розчленовуючий аспект системного мислення, то ціле втілює синтетичний, інтегруючий принцип. Розуміння природи цілого, його відношення до частин, механізмів формування цілісності є наріжним каменем системного підходу та тим, що принципово відрізняє його від редуціоністських методологій.

У системному аналізі під **цілим** розуміється не просто сукупність або агрегат частин, а організована єдність, що володіє власними властивостями, які не можуть бути виведені зі знання про окремі частини, навіть якщо про ці частини відомо все. Ціле характеризується особливою якістю – цілісністю, що проявляється у відносній незалежності властивостей цілого від властивостей окремих елементів при збереженні певної структури взаємозв'язків.

Важливо розрізнити поняття «ціле» та «сукупність». **Сукупність** – це проста множина елементів без істотних зв'язків між ними. Наприклад, купа каміння є сукупністю, але не цілим – властивості купи (вага, об'єм) є простою сумою властивостей окремих каменів. Натомість живий організм, механізм, організація є цілим – вони мають властивості та поведінку, що якісно відрізняються від властивостей їхніх компонентів.

«**Підсистема**» – частина системи, яка сама має системну природу та може розглядатися як окрема система.

«**Вхід**» – ресурси, інформація або впливи, що надходять у систему ззовні.

«**Вихід**» – продукти, результати або впливи, що система передає назовні.

«**Модель**» – спрощене зображення реальної системи, що відображає її ключові властивості та зв'язки.

«**Функція**» – призначення, роль або діяльність системи чи її елемента.

Наведений огляд категорій є основним, але не повним.

Наостанок визначимо *роль категоріального апарату* в системному аналізі:

- *уніфікація термінології*: забезпечує спільну мову для фахівців різних галузей;
- *методологічна основа*: дозволяє перейти від інтуїтивного розуміння до формалізованого опису та моделювання складних об'єктів;
- *інструмент дослідження*: допомагає структурувати інформацію, виявляти приховані залежності та розробляти ефективні рішення.

1.5 Класифікація систем

У зв'язку з великим різноманіттям систем виникає необхідність їх класифікувати. В основі будь-якої класифікації лежать *ознаки*, за якими множина об'єктів поділяється на підмножини – класи. Так, класифікацію систем можна здійснити за різними ознаками.

Розглянемо *основні ознаки та класифікації систем* залежно від них [3].

1. По відношенню системи до навколишнього середовища розрізняють:
 - *відкриті* (є обмін із навколишнім середовищем ресурсами);
 - *закриті* (немає обміну ресурсами із навколишнім середовищем).
2. За походженням системи (елементів, зв'язків, підсистем):
 - *штучні* (знаряддя, механізми, машини, автомати, роботи тощо);
 - *природні* (живі, неживі, екологічні, соціальні тощо);
 - *абстрактні, віртуальні* (уявні і, хоча вони реально не існуючі, але функціонують так само, як і у разі, якби вони реально існували);
 - *змішані* (економічні, біотехнічні, організаційні та ін.).
3. За описом змінних систем:
 - *з якісними змінними* (мають лише змістовний опис);
 - *з кількісними змінними* (які мають дискретно або неперервно описані кількісним чином змінні);
 - *змішаного* (кількісно-якісного) *опису*.
4. За типом опису закону (законів) функціонування системи:
 - *типу «чорна скринька»* (закон функціонування системи є повністю невідомим, відомі лише вхідні та вихідні повідомлення системи);
 - *не параметризовані* (закон не описаний, описуємо за допомогою хоча б невідомих параметрів, відомі лише деякі апріорні властивості закону);
 - *параметризовані* (закон відомий з точністю до параметрів і його можна зарахувати до певного класу залежностей);
 - *типу «біла (прозора) скринька»* (повністю відомий закон).

5. За способом керування системою (у системі):
- *керовані зовні системи* (без зворотного зв'язку, регульовані, керовані структурно, інформаційно або функціонально);
 - *керовані зсередини системи* (*самоврядні* або *саморегульовані* – програмно керовані, регульовані автоматично, *адаптовувані* – які пристосовуються за допомогою керованих змін станів, *самоорганізовані* – які змінюють у часі і в просторі свою структуру найбільш оптимально, впорядковуючи свою структуру під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів);
 - *системи з комбінованим керуванням* (автоматичні, напівавтоматичні, автоматизовані, організаційні).
6. За **складністю систем**, яка є однією з найважливіших характеристик систем та визначає труднощі їх дослідження, проектування та керування.

Існує ряд підходів до поділу систем за складністю, та, на жаль, немає єдиного визначення цього поняття, немає і чіткої межі, що відокремлює найпростіші системи від складних.

Різними авторами пропонувалися різні класифікації складних систем [6]. Наприклад, *ознакою простої системи* вважають порівняно невеликий обсяг інформації, необхідний для її успішного керування. Системи, у яких не вистачає інформації для ефективного керування, вважають **складними**. Для переводу системи в розряд простої необхідними є отримання інформації про неї та включення її до моделі.

Поряд з цим, вважається, що **складна система** являє собою множину взаємопов'язаних і взаємодіючих між собою елементів і підсистем різної фізичної природи, що становлять нероздільне ціле, які забезпечують виконання системою деякої складної функції і описуються досить складною математичною моделлю.

Будь-яка сукупність n не пов'язаних між собою елементів і підсистем не є системою.

Система вважається **простою**, якщо вона складається з малої кількості елементів або її модель можна віднести до розряду простих моделей.

Чим більше компонентів містить система, тим важче охопити її цілісно, відстежити всі елементи, забезпечити їхню координацію. Проста система може містити кілька елементів, складна – тисячі або мільйони. Наприклад, механічний годинник містить десятки деталей, сучасний автомобіль – десятки тисяч, а людський мозок – близько 86 мільярдів нейронів.

Г. М. Кухарів оцінює **складність систем** залежно від числа елементів, що входять до системи:

- малі системи (10 - 10^3 елементів);
- складні (10^4 - 10^6);
- ультраскладні (10^7 - 10^{30} елементів);
- суперсистеми (10^{30} - 10^{200} елементів).

Ю. І. Черняк *складною* називає систему, яка будується для вирішення багатоцільового, багатоаспектного завдання та відображає об'єкт із різних сторін у кількох моделях. Кожна з моделей має свою мову, а для узгодження цих моделей потрібна особлива метамова. При цьому наголошується на наявності у такої системи складної, складової мети або навіть різних цілей і до того ж одночасно багатьох структур (наприклад, технологічної, адміністративної, комунікаційної, функціональної тощо).

В. С. Флейшман за основу класифікації покладає складність поведінки системи.

Одна з найцікавіших класифікацій за рівнями складності запропонована К. Боулдінгом. У цій класифікації кожен наступний клас включає попередній.

Умовно можна виділити *два види складності*:

- структурну;
- функціональну.

Розглянемо кожну з них докладно.

Структурна складність. Ст. Бір пропонує поділяти системи на [16]:

- *прості* – системи, які мають до 10^3 станів;
- *складні* – системи, які відрізняються розгалуженою структурою, великою різноманітністю внутрішніх зв'язків та мають 10^3 - 10^6 станів;
- *дуже складні системи* – складні системи, які мають більше 10^6 станів та які докладно описати не є можливим.

Одним із *способів опису складності* є оцінка числа елементів, що входять до системи (змінних, станів, компонентів), та різноманітності взаємозалежностей між ними.

Наприклад, *кількісну оцінку складності системи* можна зробити, зіставляючи число елементів системи (n) і кількість зв'язків (m) за наступним співвідношенням:

$$C_s = \frac{m}{n(n-1)}$$

Можна застосувати *ентропійний підхід до оцінки складності системи* Дж. Кліра [4, 5]: структурна складність системи має бути пропорційна обсягу інформації, необхідної для її опису (зняття невизначеності). У цьому випадку загальна кількість інформації про систему S , в якій апіорна ймовірність появи i -ої властивості дорівнює $p(s_i)$, визначається як

$$I = - \sum_i p(s_i) \log p(s_i).$$

Функціональна складність. Для *кількісної оцінки функціональної складності* можна використовувати *алгоритмічний підхід*, наприклад кількість арифметико-логічних операцій, потрібних для реалізації функції системи перетворення вхідних значень у вихідні, або обсяг ресурсів (час рахунку або пам'ять, що використовується), які використовуються у системі під час вирішення деякого класу задач. Вважається, що не існує систем обробки даних, які могли б обробити більш ніж 1.6×10^{17} біт інформації в секунду на грам власної маси. Тоді гіпотетична комп'ютерна система, що має масу, яка дорівнює масі Землі, за період, який дорівнює приблизно віку Землі, може обробити

близько 10^{97} біт інформації (*межа Бремермана*). При цих розрахунках, задачі, що потребують обробки більш ніж 10^{93} біт називаються **трансобчислювальними**. В практичному плані це означає, що, наприклад, повний аналіз системи зі 100 змінних, кожна з яких може приймати 10 різних значень, є трансобчислювальною задачею.

Отже, система з n змінними, кожна з яких може знаходитися у k станах, може мати k^n можливих станів. Аналіз такої системи потребує обробки як мінімум k^n біт інформації. Задача стає трансобчислювальною, якщо $k^n > 10^{93}$. Це відбувається при наступних значеннях k та n (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

k	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	308	194	154	133	119	110	102	97	93

За іншою класифікацією пропонується розглядати **чотири варіанти складності систем**:

- *малі прості системи;*
- *малі складні системи;*
- *великі прості системи;*
- *великі складні системи.*

При цьому виділення системи того чи іншого класу в одному й тому ж об'єкті залежить від погляду на об'єкт, тобто від спостерігача. На рис. 1.2 показані можливі поєднання ознак систем: Проста-Складна, Мала-Велика.

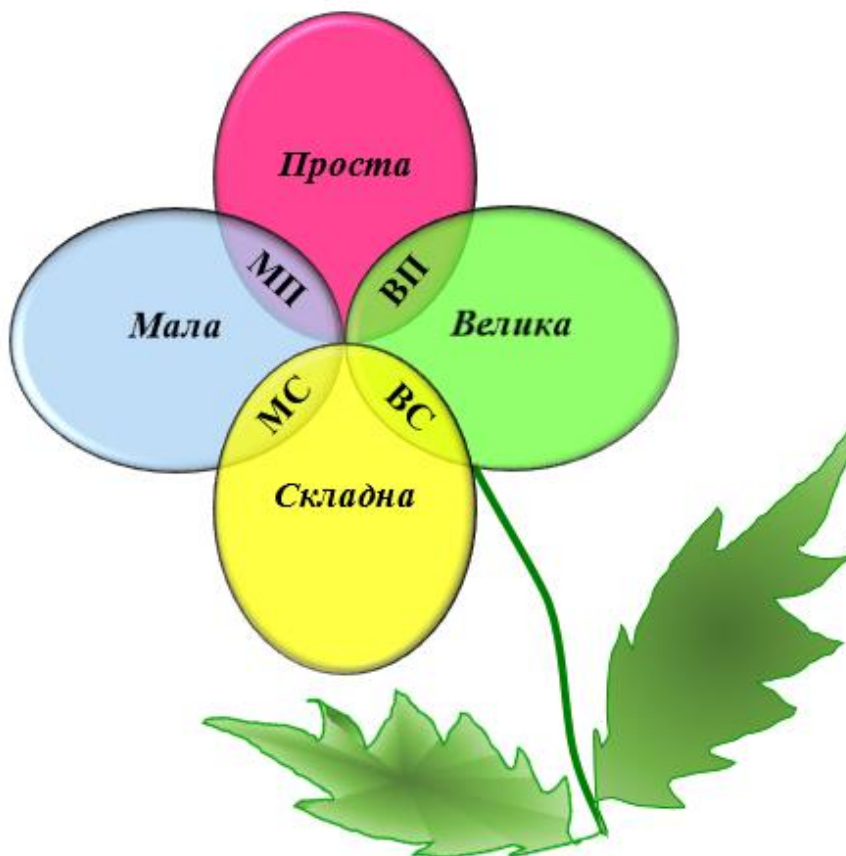


Рисунок 1.2 – Можливі поєднання ознак систем: Проста-Складна, Мала-Велика

Отже, один і той самий об'єкт може бути представлений системами різної складності і це залежить не тільки від спостерігача, а й від мети дослідження.

Розглянемо *характерні особливості складних систем*. До основних з них можна віднести:

- велику кількість взаємопов'язаних між собою елементів та підсистем;
- складність функцій, які виконуються системою та спрямовані на досягнення мети її функціонування;
- багатовимірність системи, обумовлену наявністю великої кількості зв'язків між підсистемами;
- взаємодію із зовнішнім середовищем та функціонування в умовах впливу випадкових факторів;
- наявність множини критеріїв оцінки якості функціонування складної системи та її підсистем;
- різноманіття структури складної системи, обумовлене як різноманітністю структур її підсистем, так і різноманітністю структур об'єднання підсистем в єдину систему;
- наявність керування, яке часто має ієрархічну структуру, а також розгалужену інформаційну мережу та інтенсивні інформаційні потоки;
- різноманіття фізичної природи підсистем, що характеризується їх різною фізичною сутністю;
- існування інтегративних ознак, які властиві системі в цілому, але не властиві кожному її елементу окремо (наприклад, резервована система надійна, а її елементи можуть бути ненадійними; замкнута складна система, що складається із стійких елементів, може бути нестійкою);
- відсутність можливості отримання достовірної інформації про властивості системи загалом у результаті вивчення властивостей її окремих елементів.

Від складних систем потрібно відрізнити великі системи.

Велика система – система, для актуалізації моделі якої з метою керування бракує матеріальних ресурсів (машинного часу, ємності пам'яті, інших засобів моделювання). До таких систем відносяться економічні, організаційно-управлінські, нейрофізіологічні, біологічні тощо. *Способом переведення великих систем* у прості є створення нових потужніших засобів обчислювальної техніки.

Поняття великої та складної системи є різними. Щоб підкреслити суттєву різницю між поняттями «велика» і «складна» системи, наведемо приклад (табл. 1.2), за яким, наприклад, визначимо, чому шифрозамок віднесено до класу великих та простих систем: шифрозамок – це система, яка є великою (оскільки у викрадача може не вистачити ресурсу часу для розтину замка) та простою (оскільки розтин зводиться до простого багатоваріантного перебору шифрів).

Розуміння різних видів складності є критично важливим для системного аналізу, оскільки різні типи складності вимагають різних методологічних підходів та інструментів.

Таблиця 1.2 – Зведені класифікаційні ознаки систем

№	Система	Мала	Велика	Проста	Складна
1	Справний побутовий прилад для користувача	+		+	
2	Несправний побутовий прилад для майстра	+			+
3	Шифрозамок для викрадача		+	+	
4	Мозок, живий організм		+		+

Потрібно зауважити, що системи будь-якого рівня складності володіють різними властивостями, які можна поділити на кілька груп.

1. **Властивості, які пов'язані з цілями і функціями системи:**

- *синергічність* – односпрямованість (цілеспрямованість) дій компонентів підсилює ефективність функціонування системи;
- *пріоритет інтересів системи* ширшого (глобального) рівня перед інтересами її компонентів;
- *емерджентність* – цілі (функції) компонентів системи не завжди збігаються із цілями (функціями) системи;
- *мультиплікативність* – позитивні й негативні ефекти функціонування компонентів у системі володіють властивістю множення, а не складання;
- *цілеспрямованість*;
- *альтернативність шляхів* функціонування і розвитку.

2. **Властивості, які пов'язані зі структурою системи:**

- *цілісність* – первинність цілого по відношенню до частин;
- *неадитивність* – принципова неможливість зведення властивостей системи до суми властивостей складових її компонентів;
- *структурність* – можливість декомпозиції системи на компоненти та встановлення зв'язків між ними;
- *ієрархічність* – кожен компонент системи може розглядатися як система (підсистема) ширшої глобальної системи.

3. **Властивості, які пов'язані з ресурсами і особливостями взаємодії з середовищем:**

- *комунікативність* – існування складної системи комунікацій із середовищем у вигляді ієрархії;
- *взаємодія і взаємозалежність системи й зовнішнього середовища*;
- *адаптивність* – прагнення до стану стійкої рівноваги, яка припускає адаптацію параметрів системи до параметрів змінюваного зовнішнього середовища (проте «нестійкість» не у всіх випадках є дисфункціональною для системи, вона може виступати і як умова динамічного розвитку);
- *надійність* – функціонування системи при виході з ладу однієї з її складових, можливість збереження проектних значень параметрів системи протягом запланованого періоду;

– *інтерактивність*.

4. *Інші властивості системи:*

- *інтегративність* – наявність системоутворюючих, системозберігаючих чинників;
- *еквіфінальність* – здатність системи досягати станів, не залежних від початкових умов, і таких, що визначаються тільки параметрами системи;
- *спадковість*;
- *розвиток*;
- *порядок*;
- *самоорганізація*.

1.6 Дослідження проблемних ситуацій: поняття, основні ознаки, етапи дослідження, формалізація та декомпозиція

Формулювання проблеми. Успішне формулювання проблеми може бути рівносильним «половині» розв'язку проблеми, тому в системному аналізі приділяється особлива увага можливій більш ранній оцінці параметрів, властивостей та зв'язків цієї проблеми [1, 3, 6]. Не завжди можна внести до проблеми «готові» цілі; наприклад, висловлені будь-ким цілі можуть виявитися недостатніми. Більше того, фахівець аналізу системи може прийняти запропоновану йому мету, тільки виявивши в результаті формулювання проблеми відсутність у ній надмірності або суперечливості.

Формулювання проблеми означає, що основні елементи проблеми належним чином визначені та пов'язані. Формулювання проблеми називається також *визначенням проблеми*.

Початкові операції з формулювання проблеми мають на меті:

- складання вихідного формулювання проблеми;
- осмислення цього формулювання по відношенню до різних частин проблеми;
- осмислення фактів, що стосуються проблеми;
- загальне уточнення вихідного формулювання проблеми.

На початку дослідження, поділяючи те, що відомо і що невідомо, прагнуть зробити осмисленим вихідне формулювання проблеми.

Дзеркальне відображення формулювання проблеми є виробленням визначення мети.

Термін *мета* використовується для того, щоб описати результат, що підлягає досягненню.

Мета може приймати форму, яка обумовлює досягнення максимуму (або мінімуму), величина якого ще має бути визначена, або форму завдання діапазону значень, всередині якого має лежати рішення. У всіх випадках мета є бажаним результатом діяльності.

Комбінація цілей, встановлюючих курс, і примушуючих зв'язків, обмежуючих цілі, утворює обмеження, при якому починається вивчення проблеми.

Обмеження являє собою сукупність правил, встановлення та висунення внутрішніх або зовнішніх керуючих принципів, які визначають межі проблеми..

Кожна проблема повинна мати певне обмеження.

Сумісність мети та примушуючих зв'язків істотна. Без згоди щодо обмежень неможливо, щоб була згода щодо рішень. Безглуздо говорити про «рішення», якщо зацікавлені в ситуації групи осіб не здатні дійти згоди щодо проблеми чи обмеження.

Коли фахівець з аналізу систем встановлює умову проблеми, він ставить межі дослідження проблеми і, отже, межі обмеження.

У математичному сенсі *умови можуть бути визначені як достатні, надмірні чи суперечливі*; інших форм вони набувати не можуть.

Умова є надмірною, якщо вона містить непотрібні елементи. Непотрібними елементами можуть бути ті, які мають тенденцію викликати втрати. Умова може також містити протиріччя. *Суперечливий елемент* – це елемент, який тісно пов'язаний з іншим, причому якщо один є істинним, то інший має бути хибним. *Наслідком суперечливої умови є неузгодженість частин проблеми і, отже, їх взаємна протилежність.*

Достатня умова виконується, якщо примушуючі зв'язки є сумісними з запропонованою метою, коли мета визначена адекватно вимогам до системи. *Достатність* передбачає точність і має все необхідне, щоб виконати вимогу без будь-яких нестач або будь-яких надмірностей.

Проблеми, структура яких погано визначена, взагалі «вирішуються» у вигляді прийняття без доказів, відносних або абсолютних оцінок.

Проблеми великого діапазону, проблеми, вирішення яких залежить від ще не розроблених речей, та проблеми, у яких приймаються гіпотези про об'єднання систем, ще у невизначеному в існуючій ситуації, є **проблемами з погано визначеною структурою**.

При формулюванні (або постановці) проблеми фахівець з аналізу систем повинен виконати такі роботи:

- описати, як проблема була виявлена;
- встановити, чому вона сприймається як проблема;
- відрізнити її від «симптому» деяких суміжних проблем;
- надати операційні визначення небажаних наслідків проблеми.

Фахівець з аналізу систем зробить дуже важку помилку, якщо при формулюванні проблеми він пропонуватиме рішення чи встановлюватиме причини.

Підготовка формулювання проблеми насамперед націлена на те, щоб поставити проблему до центру уваги.

До гіпотез на стадії формулювання проблеми не висувається жодних вимог.

Для забезпечення контролю за проблемою бажано, щоб були логічно ув'язані факти.

Також важливим є дослідження історичних аспектів виникнення проблеми. Момент часу, коли проблема вперше стала очевидною, дозволяє пов'язати проблему з попередніми діями, що допускають ідентифікацію.

Іноді важливо визначити ситуацію, яка породила проблему.

Одні й ті самі явища можуть інтерпретуватися як проблеми не всіма особами. Отже, необхідно встановити, що визначає зміст явища як проблеми.

Однак деякі проблеми, які не є очевидними, можуть бути передбачені виключно за допомогою аналітичних методів. У випадках, коли проблеми не є очевидними, порушення дії системи не відбувається негайно, але стає можливим.

Розглянемо *процес формалізації проблеми*.

Оскільки об'єктом дослідження у системному аналізі є проблема, то метою системного аналізу є вирішення проблеми. У свою чергу, вирішення проблеми пов'язане з процесом прийняття рішення. При цьому процес прийняття рішення – це вся сукупність процедур, що призводять до вирішення задач, що включають прямі та зворотні зв'язки.

Системний аналіз, що розглядається разом із процесом прийняття рішення, включає математичне моделювання, використання сучасних обчислювальних систем і спирається на формалізований опис ситуації.

У зв'язку з вищесказаним необхідно визначити поняття, пов'язані з процесом прийняття рішення.

Процес прийняття рішення пов'язаний з такими поняттями, як: задача, проблема, ситуація. Розглянемо ці поняття та надамо їх формальне визначення та встановимо зв'язок між ними.

Під *задачею в канонічній формі* розумітимемо логічне висловлювання виду

«Дано V , потрібно W » –	$\langle V; W \rangle$
------------------------------	------------------------

де V – задані умови, W – мета.

При цьому

$$V^P, V^S \subset V,$$

де V^P – множина операторів, V^S – множина станів об'єкта дослідження.

Отже, можемо записати

$$V^P : V^S \rightarrow V^S.$$

Характерною ознакою будь-якої задачі є невизначеність. Розрізняють наступні *невизначеності*:

- невизначеність умов V_ζ ;
- невизначеність цілей W_ζ .

Постановка задачі є першим етапом зниження невизначеності.

При постановці задачі головна увага приділяється аналізу та виділенню множини V , а також визначенню бажаних станів W .

Логічне висловлювання виду

«Потрібно W » –	$\langle -; W \rangle$
-------------------	------------------------

де явно не визначено задані умови V назовемо **проблемою**. Отже, проблема – це не повністю поставлена задача.

Щоб **розв'язати проблему** її необхідно звести до задачі, а, отже, розглянути задачу виду:

$$\boxed{\text{«Дано } \langle -; W \rangle, \text{ потрібно } \langle V; W \rangle \text{»}}$$

Логічне висловлювання виду

$$\boxed{\text{«Дано } V \text{»} - \quad \langle V; - \rangle}$$

де явно не визначена мета, називатимемо **ситуацією** – «обстановкою, сукупністю умов». Ситуація також є не повністю поставленою задачею.

Для **зведення ситуації до задачі** потрібно визначити мету (множину цілей) W і, таким чином, звести ситуацію до задачі виду

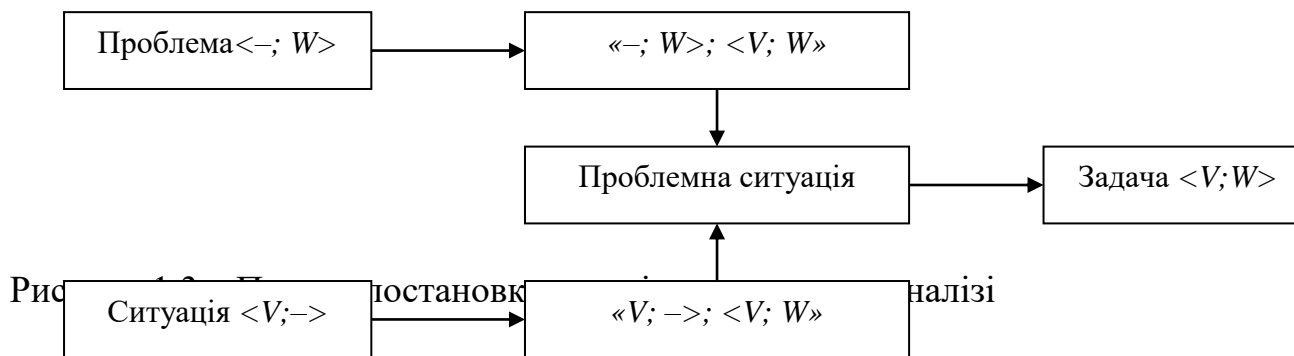
$$\boxed{\text{«Дано } \langle V; - \rangle, \text{ потрібно } \langle V; W \rangle \text{»}}$$

Отже, проблема та ситуація пов'язані із задачею двояким чином.

Розглянемо **етапи постановки задачі у системному аналізі**:

- 1 *етап*: визначення ситуації та проблеми, як початкових даних для постановки задачі;
- 2 *етап*: побудова проблемної ситуації;
- 3 *етап*: зведення проблемної ситуації до задачі.

Наведемо схему, яка дозволяє візуалізувати процес постановки задачі у системному аналізі та вказати зв'язки між введеними поняттями та етапами (рис. 1.3).



Побудова проблемної ситуації є дуже складним процесом, оскільки необхідно визначити умови та мету з множини можливих

$$\begin{aligned} \langle V; - \rangle &\in \{ \langle V; - \rangle \}; \\ \langle -; W \rangle &\in \{ \langle -; W \rangle \}. \end{aligned}$$

При цьому слід враховувати, що проблема не тотожна меті, тобто

$$\langle -; W \rangle \neq W,$$

де $\langle -; W \rangle$ – проблема з фактичною метою, W – нормативна мета.

Зауважимо, що проблема $\langle -; W \rangle$ виникає у зв'язку з незадоволеністю потреби.

Поставлену задачу може бути деталізовано, або виконано **процес декомпозиції** у наступному вигляді

$$\langle V; W \rangle \Rightarrow \langle Y, Z, D, S, U; W \rangle.$$

Розглянемо процес деталізації (декомпозиції) задачі $\langle V; W \rangle$.

Нехай маємо

«Дано Y, Z, D, S, H ; потрібно W »

або в записі через логічне висловлювання

$\langle Y, Z, D, S, H; W \rangle$,

де Y – множина керованих вхідних факторів (початкові умови $y > 0, \bar{y}$);

Z – множина некерованих вхідних факторів (початкові умови z_i можуть дорівнювати $0, \bar{z}$);

S – множина ісходів – результат;

D – множина операторів $d: Y \times Z \rightarrow S$;

U – множина критеріїв оцінки елементів S та вибір $S^* \subset S$;

S^* – оптимальне рішення;

W – мета вибору $S^* \subset S \Rightarrow S^* = S(u), u \in U$;

D – акт взаємодії Y (керованих) і Z (некерованих) факторів, тобто це процес перетворення, який здійснюється множиною операторів $D = \{ D', D'' \}$;

D' – множина керованих операторів;

D'' – множина некерованих операторів.

Досліджуваний процес декомпозиції задачі $\langle V; W \rangle$ зображено на рис. 1.4.

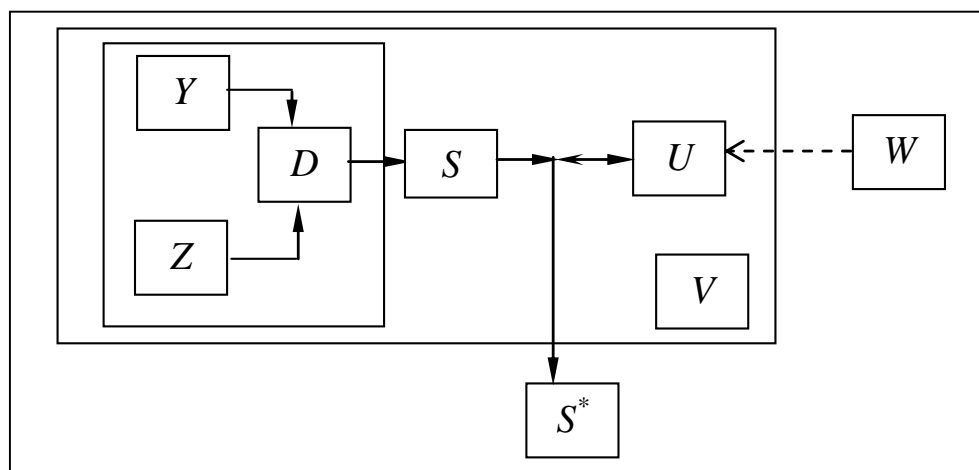


Рисунок 1.4 – Схема процесу декомпозиції задачі $\langle V; W \rangle$

Розглянемо приклад декомпозиції задачі виду

$\langle V; W \rangle \Rightarrow \langle Y, Z, D, S, U; W \rangle$.

Нехай розглядається задача житлового будівництва.

Визначимо елементи множини Y , якими для даної задачі, наприклад, будуть ресурси, до яких віднесемо будматеріали, механізми, робочу силу (L), грошові кошти (I).

Елементами множини Z (непорядкованих факторів, але таких, що враховуються) будуть: число та склад сімей; умови погоди; сейсмічність.

До множини операторів D віднесемо:

D' – множину технологій та проектів будівель;

D'' – множину непорядкованих операторів, до яких належать:

- якість конструкційних матеріалів;
- продуктивність праці робітників;
- продуктивність механізмів.

До множини ісходів – результатів S належить множина житлових будинків.

Тут W – мета вибору – ставить вимоги до житлової та корисної площі на людину: число кімнат, комплекс зручностей.

U – критерій порівняння множини ісходів S з метою W таким чином, що він або впорядковує варіанти ісходів S або вводить оцінки: наприклад, «вибрати оптимальний варіант S^* при $W=\min(Y)$ або при $W=\min(Y- Y^{норм})$ ».

1.7 Застосування системного аналізу в практичній діяльності фахівця комп'ютерних наук. Системний аналіз в проектуванні інформаційних та програмних систем, забезпеченні інформаційної безпеки

Системний аналіз є фундаментальною компетенцією сучасного фахівця комп'ютерних наук, що визначає його здатність ефективно розв'язувати складні професійні задачі. На відміну від вузькоспеціалізованих технічних навичок, які швидко застарівають у динамічній галузі інформаційних технологій, системне мислення залишається актуальним протягом усієї кар'єри, надаючи концептуальну основу для роботи з будь-якими типами складності.

Фахівець комп'ютерних наук працює на перетині технічної та соціальної реальності. З одного боку, він оперує формальними об'єктами – алгоритмами, структурами даних, програмним кодом, архітектурними патернами. З іншого боку, його робота завжди вбудована в організаційний контекст, має задовольняти людські потреби, узгоджуватися з бізнес-цілями. Системний аналіз дозволяє бачити обидва виміри одночасно, розуміти технічні рішення не ізольовано, а в контексті їхнього призначення та впливу.

Традиційна інженерна освіта часто акцентує на аналітичних навичках – розчленовувати проблему на частини, розв'язувати кожен окремо, потім об'єднувати рішення. Цей підхід ефективний для добре структурованих технічних задач, де відомі всі параметри та обмеження. Однак реальні професійні виклики фахівця комп'ютерних наук рідко мають таку природу. Вимоги є нечіткими та суперечливими, цілі множинними та конфліктними, обмеження невизначеними та мінливими. У таких умовах чисто аналітичний підхід виявляється недостатнім – потрібне системне мислення, що поєднує аналіз з синтезом, декомпозицію з інтеграцією, локальну оптимізацію з глобальним баченням.

Проектування інформаційних та програмних систем є однією з найбільш природних і водночас найбільш складних областей застосування системного аналізу. Саме тут системний підхід виявляє свою особливу ефективність, оскільки сучасні програмні продукти являють собою багаторівневі, багатокомпонентні системи, що функціонують у динамічному середовищі та мають складні взаємозв'язки як між внутрішніми елементами, так і із зовнішніми системами.

Системний аналіз є незамінним як у власне програмно-технічній сфері комп'ютерних наук, так і в моделюванні динамічних процесів – від макроекономічних тенденцій до технологічних та фінансових систем. Тут фахівець комп'ютерних наук, спираючись на епістемологічну методологію системного дослідження, будує багаторівневі моделі: від збору та структурування даних через генеративні моделі динаміки до виявлення структури зворотних зв'язків та системних взаємодій.

Розглянемо типові сфери діяльності фахівця комп'ютерних наук через призму системного підходу. Розробка програмного забезпечення вимагає не лише володіння мовами програмування та технологіями, але й розуміння архітектури систем, принципів декомпозиції, управління складністю. Адміністрування інформаційних систем передбачає бачення взаємозв'язків між компонентами інфраструктури, розуміння системних ефектів та каскадних відмов. Аналітика даних потребує усвідомлення контексту, з якого походять дані, обмежень моделей, впливу висновків на прийняття рішень. Моделювання та прогнозування динамічних процесів вимагає розуміння системної динаміки, зворотних зв'язків, нелінійних ефектів та каскадних взаємодій між компонентами складних економічних, технічних чи фінансових систем. Кібербезпека є класично системною дисципліною, де захист визначається не окремими заходами, а їхньою організацією в цілісну систему. Забезпечення інформаційної безпеки демонструє особливу потребу в системному аналізі, оскільки безпека не є самостійною функцією, а властивістю всієї системи, що виникає з правильної організації її компонентів, процесів та контролів. Системний підхід до кібербезпеки передбачає розгляд захисту не як додаткового «шару», а як інтегральної характеристики, що має враховуватися на всіх етапах життєвого циклу інформаційної системи – від концептуального проектування до експлуатації та виведення з експлуатації.

Специфіка інформаційних систем як об'єкта системного аналізу.

Інформаційні системи володіють усіма ознаками складних систем, які роблять застосування системного аналізу не просто бажаним, а необхідним:

- *емерджентністю* – властивістю, яка виникає лише на рівні цілої системи і не притаманна окремим компонентам. Наприклад, безпека інформаційної системи не є простою сумою безпеки окремих модулів, а виникає з їхньої взаємодії та правильної організації;
- *відкритістю*, яка підтримує постійну взаємодію із зовнішнім середовищем – користувачами, іншими програмними продуктами, апаратним забезпеченням, організаційними процесами. Ця взаємодія має двосторонній характер: система впливає на середовище, а середовище змінює вимоги до системи;
- *цілеспрямованістю поведінки*, що орієнтована на задоволення потреб користувачів та досягнення бізнес-цілей організації.

Складність сучасних програмних систем також проявляється в їх багаторівневій архітектурі. Інформаційна система може включати рівень користувацького інтерфейсу, рівень бізнес-логіки, рівень доступу до даних та

інші компоненти. Кожен рівень має власні закономірності функціонування, але лише їхня узгоджена взаємодія забезпечує працездатність системи в цілому.

Етапи застосування системного аналізу в проектуванні. Системний аналіз супроводжує весь життєвий цикл інформаційної системи, але особливо критичним є його застосування на ранніх етапах.

Першим і найважливішим етапом є виявлення та аналіз потреб. Тут системний аналітик виступає як дослідник складної соціотехнічної системи, до якої належить не лише майбутній програмний продукт, але й організація-замовник, користувачі, існуючі бізнес-процеси, технологічна інфраструктура. На цьому етапі системний підхід виявляється в комплексному дослідженні проблемної ситуації. Використовуються методи інтерв'ювання зацікавлених сторін, спостереження за робочими процесами, аналізу документів, моделювання діяльності.

Етап формулювання цілей та критеріїв успішності демонструє ще один аспект системного підходу – роботу з множинністю цілей. Інформаційна система рідко має одну просту ціль. Зазвичай існує ціла ієрархія цілей, які можуть конфліктувати: стратегічні цілі бізнесу, тактичні цілі підрозділів, операційні цілі користувачів. Системний аналіз надає інструменти для структурування цього розмаїття цілей, виявлення пріоритетів та пошуку компромісів. Застосовуються методи теорії прийняття рішень.

Моделювання як центральний інструмент системного аналізу. Серцевиною застосування системного аналізу в проектуванні інформаційних систем є моделювання. Модель – це спрощене відображення системи, яке зберігає істотні для дослідження властивості та абстрагується від несуттєвих деталей. У контексті інформаційних систем використовується цілий спектр моделей різних типів та рівнів абстракції.

Системний підхід до архітектури програмних систем. Архітектура програмної системи є втіленням системного мислення в проектуванні. Класичні архітектурні стилі – багаторівнева архітектура, клієнт-серверна архітектура, сервіс-орієнтована архітектура, мікросервісна архітектура – всі вони відображають різні способи декомпозиції складної системи на керовані підсистеми. Важливим аспектом архітектурного проектування є аналіз якісних атрибутів або нефункціональних вимог. Системний підхід вимагає розглядати ці атрибути не ізольовано, а в їхній взаємодії та взаємовпливі.

Управління складністю через декомпозицію. Центральною стратегією системного аналізу при роботі зі складними програмними системами є принцип декомпозиції – розбиття складної системи на простіші компоненти. Однак декомпозиція – це не механічне розділення, а мистецтво виявлення природних меж підсистем.

Аналіз та управління взаємозв'язками. Якщо декомпозиція розбиває систему на частини, то аналіз взаємозв'язків вивчає, як ці частини взаємодіють. Інтерфейси між компонентами, потоки даних, залежності, обмін повідомленнями – все це об'єкти системного аналізу. Погано спроектовані взаємозв'язки можуть зруйнувати переваги гарної декомпозиції, створюючи заплутану мережу залежностей. Особлива увага приділяється зовнішнім

інтерфейсам системи – точкам взаємодії з користувачами та іншими системами. Проектування інтерфейсів вимагає системного мислення, оскільки треба враховувати не лише технічні аспекти, але й людський фактор, організаційний контекст, сценарії використання.

Управління даними з системних позицій. Дані в інформаційній системі – це не просто набір записів у базі, а структурований ресурс, що відображає стан системи та забезпечує її функціонування. Системний підхід до управління даними розглядає їх як підсистему зі власною архітектурою, життєвим циклом, вимогами до якості. Системний аналіз даних також включає вивчення інформаційних потоків: звідки дані надходять у систему, як вони перетворюються, куди передаються.

Аналіз ризиків та невизначеності. Проектування інформаційних систем відбувається в умовах невизначеності. Вимоги можуть змінюватися, технології – застарівати, припущення про навантаження – виявитися помилковими. Системний аналіз передбачає явне виявлення та оцінювання ризиків на всіх етапах проекту. Одним із способів управління невизначеністю є прототипування – створення спрощених версій системи для перевірки припущень та уточнення вимог. Системний аналіз допомагає визначити, які аспекти системи несуть найбільшу невизначеність і потребують прототипування, який рівень деталізації прототипу є достатнім.

Оцінювання та вибір альтернатив. Рідко існує єдине очевидне рішення проектної проблеми. Зазвичай є кілька альтернативних підходів, кожен з яких має переваги та недоліки. Системний аналіз надає методологію порівняння альтернатив за використанням методів та підходів теорії прийняття рішень й експертних методів. Наприклад, при виборі технологічного стеку можна розглядати різні мови програмування, фреймворки, системи управління базами даних. Критерії оцінювання можуть включати продуктивність, зручність розробки, наявність бібліотек, кваліфікацію команди, вартість ліцензій, підтримку спільноти. Різні зацікавлені сторони можуть надавати різну вагу цим критеріям. Важливо, що системний підхід не диктує певне рішення, а надає інструменти для раціонального вибору з урахуванням специфіки проекту та переваг зацікавлених сторін.

Системний аналіз у забезпеченні інформаційної безпеки. Інформаційна безпека є однією з найбільш показових областей застосування системного аналізу в діяльності фахівця комп'ютерних наук. На відміну від функціональних вимог, *безпека* є наскрізною властивістю, що пронизує всі аспекти системи та впливає на всі рівні її архітектури. Безпека не може бути «додана» до готової системи – вона має бути закладена в її фундамент з самого початку проектування.

Системна природа інформаційної безпеки виявляється в тому, що рівень захисту системи визначається не найсильнішим, а найслабшим її елементом. Це явище, відоме як «принцип найслабшої ланки», робить безпеку класичною *емерджентною властивістю*. Можна мати найдосконаліші технічні засоби захисту, але один неправильно налаштований компонент, одна вразливість у коді, одна помилка адміністратора можуть скомпрометувати всю

систему. *Фундаментом системного підходу до інформаційної безпеки є моделювання загроз* – структурований процес виявлення, аналізу та пріоритизації потенційних загроз. Моделювання розглядає систему з точки зору потенційного зловмисника, виявляючи можливі вектори атак, уразливості та точки входу. *Системний характер моделювання загроз виявляється в комплексному аналізі*: розглядаються не лише технічні уразливості, але й організаційні процеси, людський фактор, фізична безпека, ланцюги постачання.

Системний підхід втілюється в *архітектурному принципі «захист у глибину»*, що передбачає створення множинних рівнів захисту, де компрометація одного рівня не призводить до повного порушення безпеки. Типова архітектура може включати мережевий рівень з міжмережевими екранами, рівень хостів з антивірусним захистом, рівень застосунків з автентифікацією та авторизацією, рівень даних з шифруванням та контролем доступу. Кожен рівень використовує різні механізми захисту, що ускладнює завдання зловмисника та надає часу для виявлення та реагування на атаку.

Контроль доступу до ресурсів системи є критичною функцією безпеки, що демонструє складну взаємодію технічних, організаційних та процесних аспектів. Системний підхід розглядає *повний життєвий цикл цифрової ідентичності*: створення облікових записів, надання прав доступу, моніторинг використання, періодичний перегляд привілеїв, деактивацію. Застосовуються моделі контролю доступу різної складності: дискреційний, мандатний, рольовий, атрибутний. Системний аналіз допомагає обрати модель, що відповідає організаційній структурі, забезпечуючи баланс між безпекою та зручністю використання.

Безпека не є статичним станом – це безперервний процес моніторингу, виявлення аномалій та реагування на інциденти. Системний підхід передбачає збір та аналіз даних з усіх компонентів системи, їх інтеграцію в системах керування інформацією та подіями безпеки, що використовують методи кореляції для виявлення складних атак. Системний аналіз допомагає спроектувати ефективні процеси реагування на інциденти, що включають виявлення, класифікацію, ескалацію, розслідування, усунення, відновлення та пост-інцидентний аналіз. Кожен інцидент розглядається як можливість навчання та вдосконалення системи захисту.

Системний підхід визнає, що *люди є невід'ємною частиною системи*, і їхня поведінка критично впливає на рівень захисту. Соціальна інженерія, фішинг, небезпечні паролі, недотримання політик безпеки – усе це загрози, що не можуть бути усунені лише технічними засобами. Системний аналіз розглядає *безпеку як соціотехнічну проблему*, де технічні контролі мають доповнюватися організаційними заходами: навчанням співробітників, формуванням культури безпеки, створенням зрозумілих політик. Системний підхід прагне знайти баланс між безпекою та зручністю використання, визнаючи, що надто обтяжливі заходи можуть зменшити загальний рівень безпеки.

У центрі системного підходу до безпеки знаходиться *керування ризиками* – структурований процес ідентифікації, аналізу, оцінювання та обробки ризиків. Керування ризиками визнає, що абсолютна безпека недосяжна

та економічно недоцільна. Замість цього системний аналіз допомагає раціонально розподіляти обмежені ресурси, зосереджуючись на найсуттєвіших ризиках. Процес включає виявлення активів та їхньої цінності, ідентифікацію загроз та вразливостей, оцінювання ймовірності реалізації загроз, визначення пріоритетності ризиків, вибір стратегій обробки ризиків. Системний характер керування ризиками виявляється в розгляді взаємозв'язків між ризиками, каскадних ефектів, балансу між різними аспектами безпеки.

Системний підхід вимагає *інтеграції безпеки у весь життєвий цикл розробки програмного забезпечення*, а не розгляду її як окремої фази або відповідальності спеціалізованої команди. Окремі концепції втілюють цю ідею, пропонуючи вбудовувати практики безпеки в процеси розробки та експлуатації: від моделювання загроз на етапі вимог, через практики безпечного кодування та тестування на проникнення, до постійного моніторингу та керування патчами в експлуатації. Системний аналіз координує всі ці активності, забезпечуючи їхню узгодженість та ефективність.

Отже, застосування системного аналізу до забезпечення інформаційної безпеки є фундаментальною необхідністю. Безпека за своєю природою є системною властивістю, що виникає з правильної організації технічних, організаційних та процесних компонентів. Системний підхід надає концептуальні рамки для комплексного розуміння безпеки, методологію для структурованого аналізу загроз та ризиків, інструменти для проектування архітектури захисту, практики для інтеграції безпеки у весь життєвий цикл системи.

Системний аналіз в прогнозуванні та керуванні динамічними процесами. Застосування системного аналізу до прогнозування та керування динамічними процесами в макроекономічних, технічних, технологічних і фінансових об'єктах демонструє особливу потужність системного мислення при роботі зі складними поведінковими системами. Методологія системного аналізу розглядає дослідження таких систем через епістемологічну ієрархію рівнів знання про систему: від рівня джерела даних (спостереження за змінними) через рівень даних (класифікація та масштабування) до генеративного рівня (моделі, що описують динаміку), структурного рівня (виявлення підсистем та взаємозв'язків) та метасистемного рівня (системи систем).

На рівні джерела даних системний аналіз визначає змінні, що характеризують стан макроекономічної, технічної чи фінансової системи, способи їх вимірювання та часову дискретизацію спостережень. Рівень даних передбачає структурування спостережень, виявлення закономірностей у часових рядах, кореляцій між змінними, статистичних характеристик поведінки системи. Генеративний рівень будує моделі динаміки – диференціальні рівняння для макроекономічних систем, моделі матеріальних та енергетичних балансів для технологічних процесів, стохастичні моделі для фінансових ринків, що дозволяють прогнозувати майбутні стани та симулювати сценарії.

Структурний рівень виявляє архітектуру системи – декомпозицію на підсистеми, зворотні зв'язки (позитивні, що створюють експоненційне зростання чи спад, та негативні, що забезпечують стабілізацію), часові затримки, точки важеля для керування. Метасистемний рівень розглядає

взаємодію множини систем – національних економік у глобальній економіці, підприємств у виробничих ланцюгах, фінансових установ у банківській мережі, виявляючи емерджентні властивості та системні ризики.

Рух вгору епістемологічною ієрархією (від даних до моделей до структури) дозволяє поглиблювати розуміння системи, а рух донизу (від моделей до прогнозів) – застосовувати це розуміння для передбачення та керування. Критичною при цьому є валідація на кожному рівні – перевірка адекватності даних, коректності моделей, структурної відповідності, з усвідомленням принципової невизначеності та множинності можливих системних репрезентацій для одного об'єкта дослідження.

Отже, системний аналіз, як компетенція сучасного фахівця комп'ютерних наук, визначає здатність комплексно та ефективно розв'язувати складні професійні задачі, а застосування системного аналізу до розв'язання зазначених задач є не просто корисною практикою, а необхідною умовою створення якісних, ефективних, адаптивних рішень. Системний підхід надає концептуальні рамки для осмислення складності, методологію дослідження та проектування, інструменти моделювання та аналізу. Він дозволяє розуміти систему як ціле, приймати рішення з урахуванням усього спектру факторів та наслідків, надаючи концептуальну основу для роботи з будь-якими типами складності. Особливо яскраво це виявляється у сфері інформаційної безпеки, де системний аналіз перетворюється з корисного інструменту на абсолютну необхідність, адже безпека не може бути забезпечена локальними заходами – вона вимагає цілісного бачення системи, розуміння взаємозв'язків між компонентами, передбачення можливих загроз та системної організації захисту. Аналогічно, прогнозування та управління динамічними процесами в економічних, технічних та фінансових системах неможливе без системного розуміння зворотних зв'язків, каскадних ефектів та структури взаємодій, що визначають поведінку системи як цілого.

Питання для самоконтролю

1. Сформулюйте поняття системного аналізу.
2. Які характеристики системності входять до складу предмету системного аналізу?
3. Охарактеризуйте загальні принципи системного аналізу.
4. Розкрийте поняття системи за Л. фон Берталанфі.
5. Наведіть визначення системи за М. Месаровичем.
6. Що називається зв'язком? Які види зв'язків Вам відомі?
7. Охарактеризуйте види систем, які класифікуються за описом змінних систем.
8. Розкрийте поняття емерджентності системи.
9. Сформулюйте задачу в канонічній формі.
10. Надайте формалізоване визначення проблеми.