

Рівненський державний гуманітарний університет
Кафедра інформаційних технологій та моделювання

І.П. Мороз, М.В. Назарук

**ТЕОРІЯ СИСТЕМ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ:
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

Рівне – 2025

УДК 004.9

Затверджено на засіданні кафедри інформаційних технологій та моделювання Протокол № 5 від 29.04.2025 року

Рекомендовано навчально-методичною комісією факультету математики та інформатики РДГУ. Протокол № 4 від 30.04.2025 року

Рецензенти: Турбал Ю.В., д.т.н., проф., завідувач кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики НУВГП;
Присяжнюк І.М., к.т.н., доц., доцент кафедри вищої математики РДГУ.

У методичному посібнику викладено основний матеріал теорії систем та системного аналізу, що розкриває основні положення системної методології, цілі, задачі та методи дослідження систем.

Посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», 122 «Комп'ютерні науки», 113 «Прикладна математика».

Зміст

Тема 1. Загальні положення та визначення теорії систем.	5
Поняття системи.	
Класифікація систем.	
Тема 2. Моделювання систем.....	19
Поняття моделі.	
Класифікація моделей.	
Математичні моделі. Класифікація математичних моделей.	
Етапи моделювання.	
Модель «чорної скриньки».	
Модель «білої скриньки».	
Використання графових моделей у теорії систем.	
Тема 3. Складні системи.....	37
Поняття складної системи. Ознаки складних систем.	
Методи пониження рівня складності систем.	
Управління в складних системах.	
Роль інформації в управлінні складними системами.	
Тема 4. Проблема аналізу складних систем.....	48
Аналіз та синтез в системних дослідженнях.	
Декомпозиція систем: генерування та відбір варіантів розв’язків.	
Побудова дерева цілей.	
Алгоритм декомпозиції.	
Агрегування систем. Види агрегатів.	
Тема 5. Етапи системного аналізу.....	57
Методика системного аналізу.	
Формулювання проблеми.	
Виявлення цілей. Формування критеріїв.	
Генерування альтернатив.	
Розробка алгоритму проведення системного аналізу.	
Неформальні методи системного аналізу: «мозкового штурму», експертних оцінок, «Дельфи», діагностичні методи.	
Тема 6. Базові поняття та підходи теорії прийняття рішень.	68
Методологія прийняття рішень.	
Вибір як реалізація цілі.	
Множинність задач вибору.	
Математичні та системні підходи в теорії прийняття рішень.	
Системний аналіз при розв’язуванні задач прийняття рішень.	
Методи пошуку рішень (на базі повного перебору, на базі аналізу екстремальних значень).	

Теоретичні основи методу аналітичної ієрархії.
Прийняття рішень методом аналітичної ієрархії.
Методи дерев цілей, функціонального аналізу та формування експертних висновків.

Тема 7. Прийняття рішень в умовах визначеності.80

Загальне поняття і властивості функцій корисності.
Алгоритми оптимізації функцій корисності.
Розв'язання задач прийняття рішень в умовах визначеності.

Тема 8. Прийняття рішень в умовах ризику.89

Поняття ризику, його основні елементи та ознаки.
Класифікація ризиків.
Методи мінімізації ризиків.
Моделі та критерії прийняття рішень в умовах ризику.

Тема 9. Прийняття рішень у конфліктних ситуаціях.97

Особливості прийняття рішень у конфліктних ситуаціях.
Сутність теорії ігор.
Чиста і змішана стратегія.
Колективні рішення.

Тема 10. Прийняття рішень в умовах невизначеності.105

Поняття невизначеності у задачах прийняття рішень.
Постановка модельних задач прийняття рішень в умовах невизначеності.
Критерії прийняття рішень в умовах невизначеності.

Рекомендована література.....114

Тема 1. Загальні положення та визначення теорії систем.

1.1. Поняття системи.

Теорія систем – це дисципліна, яка займається проблемами прийняття рішень в умовах, коли вибір альтернативи потребує аналізу складної інформації різної фізичної природи.

Основна задача теорії систем як навчальної дисципліни – показати, як різні знання (математичний аналіз, алгебра, дискретна математика, методи оптимізації, теорія керування, програмування) мало, на перший погляд, пов'язані, можуть служити розв'язанню складних прикладних задач. Зауважимо, що для дослідження складних ситуацій **немає** наборів стандартних рецептів, є **лише загальна методологія** прийняття рішень.

Основним поняттям курсу є поняття **системи**. **Система** (у перекладі з грецької) – це ціле, те, що складається із частин. Відома ціла низка означень даного поняття, що обумовлено, у першу чергу, різними сферами його використання – в науці, техніці, економіці, соціології, освіті, культурі тощо.

Приклади означень.

Система – це сукупність взаємопов'язаних між собою елементів, які відокремлені від середовища і взаємодіють із середовищем як єдине ціле.

Система – це скінченна множина функціональних елементів та відношень між ними, що виділена з середовища з певною метою в рамках певного часового інтервалу.

Аналіз означень та понять, що використовуються в означеннях, буде проведено нижче.

Об'єктивна необхідність виникнення теорії систем полягає у потребі проведення досліджень міждисциплінарного характеру, що спрямовані на:

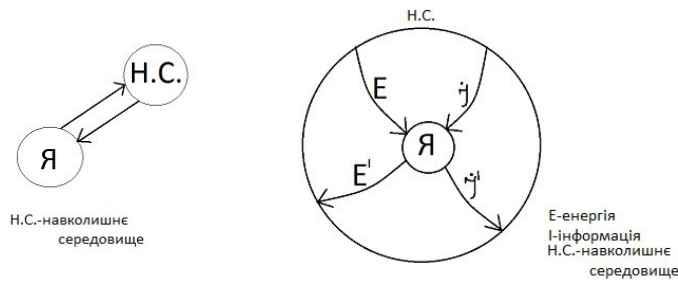
- створення складних виробничих та технологічних комплексів;
- створення фінансових систем;
- створення складних систем управління;
- аналіз економічних ситуацій;
- аналіз соціально-політичних процесів;
- аналіз геополітичних ситуацій тощо.

Для усіх визначень системи характерним є те, що система є цілісним комплексом взаємопов'язаних елементів, який має певну структуру і взаємодіє з навколишнім середовищем.

Для відображення систем (візуалізації), їх структури, використовують **графи** (неорієнтовані, орієнтовані).

Вершини графа відображають елементи системи, а **ребра (дуги)** – зв'язки між елементами.

Приклади графічного подання систем.



Приклади ілюструють систему, яка складається із двох елементів: людина-навколишнє_середовище. Наявність очевидного зв'язку між елементами відображають дуги. Відмітимо, що зв'язки мають інформаційно-енергетичний характер (можливо, звідси течія дуалізму в філософії). Незважаючи на поверхневу простоту, приведений граф системи досить інформативний. Наприклад, він дозволяє сформулювати уявлення про зміст поняття “свобода”. Зокрема про те, що абсолютної свободи не існує (це ідеалізація). В рамках запропонованих уявлень “бути вільним” означає втрату інформаційно-енергетичних зв'язків з навколишнім середовищем, а це неможливо.

Розглянемо основні поняття теорії систем.

Елемент системи – це найпростіша неподільна частина системи. Елемент системи визначається в першу чергу конкретною задачею аналізу системи. Елемент системи завжди зв'язаний з системою. Елемент у свою чергу може бути системою (підсистемою).

Підсистема – це компонента системи, в якій можна виділити інші складові (є об'єднанням елементів). В багатьох випадках складна система складається з підсистем.

Зв'язок – це елемент системи, який характеризує взаємодію між елементами. Зв'язок можна охарактеризувати напрямком, силою, характером (видом зв'язку). Зв'язки однозначно характеризують структуру системи.

Структура системи – це сукупність зв'язків між її елементами. Під такими зв'язками розуміють можливість впливу одного елемента на інший. Існує два основні види взаємодії:

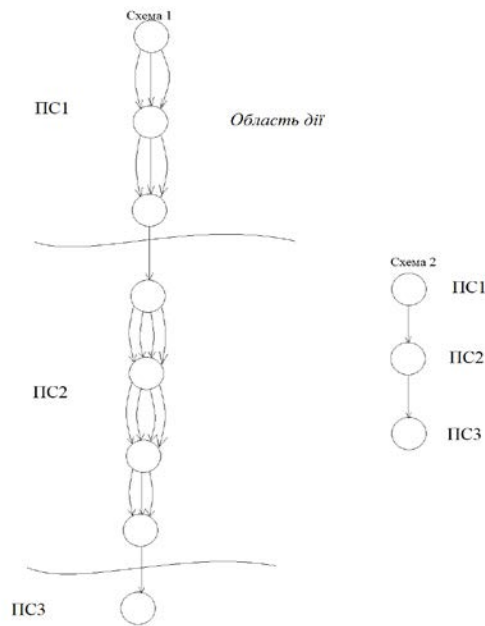
- Енергетична;
- Інформаційна.

Потрібно розрізняти поняття структури та системи. Схематично структуру можна розглядати як систему мінус елементи, що її утворюють.

Приклад.

Покажемо у вигляді графа частину алгоритму (програми). Вершини графа – команди, дуги – елементи даних, що передаються від однієї команди до іншої. У даній системі команди відіграють роль елементів системи, а дані – роль зв'язків.

Неважко помітити, що зв'язки між різними елементами відрізняються силою (кількістю дуг). У програмуванні ця обставина використовується для організації підалгоритмів (підпрограм).



Згідно графа прикладу підсистеми (ПС) або підпрограми у системі (програмі) виділяємо так, щоб у місцях поділу існувала мінімальна кількість зв'язків (між командами передавалась мінімальна кількість елементів даних). В результаті у початковій системі можна виділити три підсистеми.

Звертаємо увагу, на те, що другий (див. рисунок) граф містить значно меншу кількість елементів. Це дозволяє понизити рівень **складності** системи. Підпрограми організовують саме з метою пониження рівня складності програм.

Стан системи – це миттєва оцінка системи (фаза розвитку системи). Характеризується сукупністю фізичних величин і якісних ознак. Якщо система переходить з одного стану в інший, то говорять, що вона має певну **поведінку**. Це поняття використовується, коли не відомі закономірності (правила) переходу з одного стану в інший.

Рівновага – це певний встановлений стан системи, коли можливі зв'язки (взаємодії) урівноважуються (компенсуються). У стані рівноваги система зберігає свою поведінку за умови відсутності зовнішнього впливу як завгодно довго. (приклад: басейн (елемент), в який надходить і витікає вода (зв'язки)). У подальшому окремо будемо виділяти **стійкі** та **нестійкі** стани систем.

Середовище – сукупність елементів, які не входять до складу системи (будови системи), але впливають на її поведінку. Система називається **відкритою**, якщо існує зовнішнє середовище, яке впливає на систему. Система називається **закритою**, якщо вплив зовнішнього середовища на систему відсутній. Зв'язок із зовнішнім середовищем відбувається шляхом інформаційного обміну, енергетичного обміну, шляхом обміну речовиною.

Мета – це бажаний стан, в який потрібно привести систему у результаті впливу на неї (в результаті управління системою). Мета функціонування системи (вектор цілі) може розглядатись як сукупність системоутворюючих факторів (те, що формує систему).

Узагальнимо означення системи.

Система – це множина елементів, які перебувають у взаємозв’язку і характеризуються наступними ознаками:

- наявність певної структури елементів (структурованість)
- підпорядкованість усієї системи досягненню певної мети функціонування.

Розглянемо приклади застосування системних уявлень.

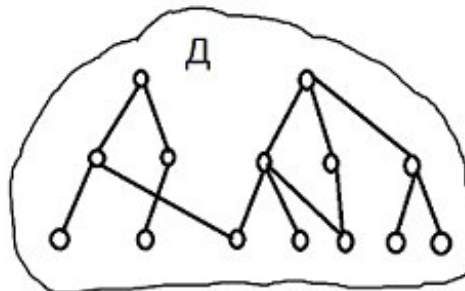
Приклад 1.

Розглянемо соціальну систему (державу). Держава складається з людей – елементів цієї системи. Люди між собою перебувають в певних стосунках (існують інформаційно-енергетичні зв’язки). В суспільстві існує певна структура - ієрархічна структура, яка обумовлена властивостями зв’язків підпорядкування. Метою функціонування такої системи (держави), наприклад, може бути бажання підвищення добробуту кожної людини (переведення системи до деякого “вищого” стану, що наділений, можливо, навіть ідеалізованими характеристиками).

Досягнення мети обумовлює необхідність постановки та розв’язання наступних задач:

- об’єднання елементів (встановлення зв’язків);
- структурування елементів з метою підвищення ефективності діяльності (оптимізація виробничої діяльності та управління);
- налагодження “вигідних” зв’язків з надсистемами або з навколишнім середовищем тощо.

Наступний рисунок ілюструє деревоподібний граф соціальної системи (ієрархічну структуру соціальної системи).



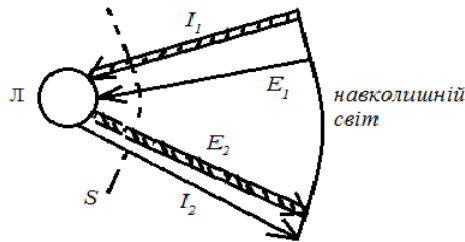
Різні держави можуть мати різні вектори цілі (див. рисунок). Відповідно, в них формуються різні соціальні системи.



Відмітимо, що мета функціонування системи часто визначається системою суспільних цінностей, мораллю.

Приклад 2.

В найпростішому випадку, система люда-навколишній_світ має наступний вигляд.

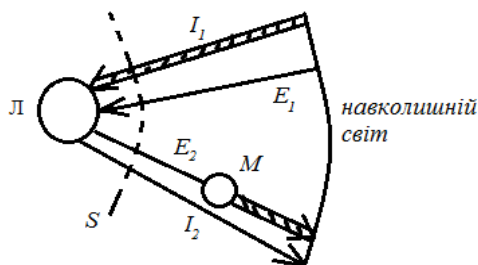


Відмітимо, що у залежності від поставлених питань дослідження, дану систему можна розглядати по-різному: людина може розглядатись і як елемент, і як система; навколишній світ можна включати у систему або можна розглядати по відношенню до людини (як системи) середовищем (можна включати або не включати навколишній світ в систему).

Окремо потрібно розглянути структуру системи. Об'єктивно існує **інформаційно-енергетичні** (підкреслюємо важливість інформації у нашому житті) зв'язок людини із навколишнім світом. З навколишнього світу людина черпає необхідну для виживання інформацію (I_1) та енергію (E_1). Результатом діяльності людини є певні матеріальні блага (опрацьована інформація - I_2 та енергія, що спрямована на створення благ E_2). Інформаційно-енергетичні потоки не рівноцінні (це відмічено на рисунку різними типами дуг). Наприклад, інформаційний потік з навколишнього світу значно потужніший за потік тієї інформації, що генерує людина.

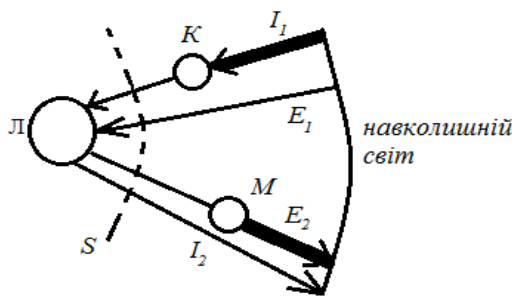
Запропоновану схему можна використати для вивчення еволюційного розвитку людства та прогнозування майбутнього.

На межі XVIII-XIX ст. відбулася перша науково-технічна революція (НТР). Вона характеризується появою теплових машин (M), які здатні значно підсилити енергію, що генерує людина. Як наслідок – значно зростає продуктивність праці і навколишній світ кардинально змінюється.



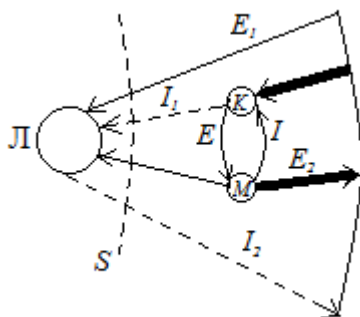
В першій половині XX ст. відбулася друга НТР. З'являються електричні машини та інформаційні системи (електронні обчислювальні машини (K)). Поява таких машин дозволила змінити умови праці, покращилась система управління, зросла швидкість обробки інформації, з'являються роботизовані виробничі системи, автоматизовані системи проектування. Наукові

дослідження за рахунок використання інформаційних систем виходять на новий якісний рівень.



Проведемо порівняльний аналіз побудованих систем. У першу чергу відмітимо появу в системі нові важливих елементів – машин. Поява машин значно змінює характер відповідних інформаційних чи енергетичних зв’язків – вони стають “слабшими” (на схемах використано різні типи дуг). Інформаційно-енергетичні потоки навколо людини (переріз S) у процесі еволюції стають більш комфортними. Звернемо увагу на те, що до першої НТР найвищу цінність у суспільстві мала фізична праця людини. Лише фізична праця дозволяла отримати усі необхідні блага. Із зростанням рівня розділення праці після появи машин у суспільстві зростає роль інженера (інженера-механіка у першу чергу). Інженер забезпечував роботу головної ланки виробничої системи – машини. Після другої НТР аналогічно зростає суспільна роль інженера-програміста.

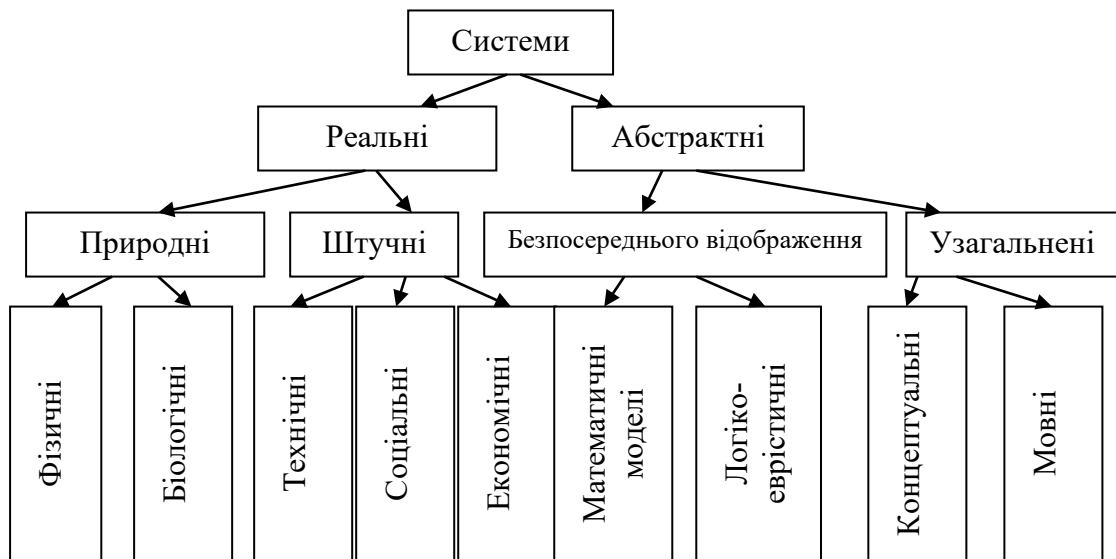
Логічно повстає питання: що людину очікує у майбутньому? Інформаційно-енергетичні потоки можна замкнути на таких елементах, як електронна обчислювальна машина (К) та станок (М). Теоретично ряд зв’язків людини з навколишнім світом на цьому можна перервати. Результатом прогнозування може стати наступна схема.



1.2. Класифікація систем.

Класифікацією називають розбиття на класи (групи) за найбільш суттєвими ознаками. Під класом розуміють сукупність об’єктів, що мають щось спільне. Ознака (або сукупність ознак) є критерієм класифікації.

Система може характеризуватись однією або декількома ознаками і відповідно їй можна знайти місце в різноманітних класифікаціях, кожна з яких може бути корисною при виборі методології досліджень. Часто класифікацію проводять з метою уніфікації підходів до опису систем.



За змістом розрізняють **реальні** (матеріальні), об'єктивно існуючі, і **абстрактні** (концептуальні, ідеальні), що є продуктом мислення.

Реальні системи діляться на **природні** (природні системи) і **штучні** (антропогенні).

Природні системи: системи **неживої** (фізичні, хімічні) і **живої** (біологічні) **природи**. *Приклади:* Сонячна система, атом, молекула, геологічна система, клітина, людина, екосистема, біосфера.

Штучні системи: створюються людством для своїх потреб або утворюються в результаті цілеспрямованої діяльності.

Штучні поділяються на **технічні** (техніко-економічні) і **соціальні** (громадські).

Технічна система спроектована і виготовлена людиною в певних цілях. *Приклади:* обладнання заводу, автомобіль, ЕОМ, телевізор. *Приклади* економічних систем: підприємство, фінанси, торгівля.

До соціальних систем відносяться різні системи людського суспільства. *Приклади:* сім'я, виробничий колектив, соціальні групи.

Виділення систем, що складаються з одних тільки технічних пристроїв майже завжди умовне, оскільки вони не здатні визначати свій стан. Ці системи виступають як частини більш великих, що включають людей - **організаційно-технічних** систем.

Організаційна система, для ефективного функціонування якої істотним фактором є організація взаємодії людей з технічною підсистемою, називається людино-машинною системою.

Приклади людино-машинних систем: автомобіль - водій; літак - пілот; ЕОМ - користувач і т.д.

Таким чином, під технічними системами розуміють єдину конструктивну сукупність взаємопов'язаних і взаємодіючих об'єктів, призначена для цілеспрямованих дій із завданням досягнення в процесі функціонування заданого результату.

Відмінними ознаками технічних систем в порівнянні з довільною сукупністю об'єктів або в порівнянні з окремими елементами є конструктивність (практична реалізація зв'язків між елементами) і визначеність мети функціонування.

Для того, щоб система була стійкою до зовнішніх впливів, вона повинна мати **стійку** структуру. Вибір структури практично визначає технічний вигляд як всієї системи, так її підсистем, і елементів. Питання про доцільність застосування тієї чи іншої структури має вирішуватися виходячи з конкретного призначення системи. Від структури залежить також здатність системи до перерозподілу функцій у разі повного або часткового відходу окремих елементів, а, отже, надійність і живучість системи при заданих характеристиках її елементів.

Абстрактні системи є результатом відображення дійсності (реальних систем) в мозку людини.

Їх призначення - необхідність забезпечення ефективної взаємодії людини з навколишнім світом. Абстрактні (ідеальні) системи об'єктивні за джерелом походження, оскільки їх першоджерелом є об'єктивно існуюча дійсність.

Абстрактні системи поділяють на системи **безпосереднього відображення** (відображають певні аспекти реальних систем) та системи **узагальнюючого відображення**.

До перших відносяться математичні та евристичні моделі. *Приклади:* математичні моделі – система алгебраїчних рівнянь, постановка задачі Коші; логіко-евристичні – доведення теореми, постановка задачі.

До других - концептуальні системи (теорії методологічного побудови) і мови. *Приклади:* концептуальні – система знань, теорії в певних предметних областях, мораль; мовні: мова спілкування, мова програмування.

Класифікацію систем можна проводити за різними ознаками (наведені у таблиці).

Ознаки (критерії) класифікації	Класи систем
За взаємодією з зовнішнім середовищем	Відкриті Закриті Комбіновані
За структурою	Прості Складні Великі

За характером функцій	Спеціалізовані Багатофункціональні (універсальні)
За характером розвитку	Стабільні Що розвиваються
За ступінню організованості	Добре організовані Погано організовані (дифузійні)
За складністю поведінки	Автоматичні Вирішуючі Самоорганізовані Прогнозовані Що перетворюються
За характером зв'язку між елементами	Детерміновані Стохастичні
За характером структури управління	Централізовані Децентралізовані
За призначенням	Виробничі Управлінські Обслуговуючі

На основі поняття зовнішнього середовища системи поділяються на: **відкриті**, **закриті** (замкнуті, ізольовані) і **комбіновані**. Розділ систем на відкриті і закриті пов'язаний з їх характерними ознаками: можливістю збереження властивостей при наявності зовнішніх впливів. Якщо система нечутлива до зовнішніх впливів її можна вважати закритою. В іншому випадку – відкритою.

Відкритою називається система, яка взаємодіє з навколишнім середовищем. Усі реальні системи є відкритими. Відкрита система є частиною більш загальної системи або кількох систем. Якщо виокремити з цього утворення власне ту систему, що розглядається, то все інше можна розглядати як середовище.

Відкрита система пов'язана з середовищем певними комунікаціями, тобто мережею зовнішніх зв'язків системи. Виділення зовнішніх зв'язків та опис механізмів взаємодії «система-середовище» є центральним завданням теорії відкритих систем. Розгляд відкритих систем дозволяє розширити

поняття структури системи. Для відкритих систем воно включає не тільки внутрішні зв'язки між елементами, а й зовнішні зв'язки з середовищем. При описі структури зовнішні комунікаційні канали намагаються розділити на **вхідні** (за якими середовище впливає на систему) і **вихідні** (навпаки). Сукупність елементів цих каналів, що належать власне системі, називаються вхідними та вихідними полюсами системи. У відкритих системах принаймі один елемент має зв'язок із зовнішнім середовищем. Щонайменше один вхідний полюс і один вихідний, якими вона пов'язана з зовнішнім середовищем.

Для кожної системи зв'язки з усіма підпорядкованими їй підсистемами і зв'язки усередині підсистем є внутрішніми, а всі інші - зовнішніми. Зв'язки між системами і зовнішнім середовищем і між елементами системи носять, як правило, спрямований характер.

Важливо підкреслити, що в будь-якій реальній системі в силу законів діалектики про загальний зв'язок явищ число всіх взаємозв'язків величезне, так що врахувати і дослідження абсолютно всі зв'язки неможливо, тому їх число штучно обмежують (**абстрагування**). Разом з тим, враховувати всі можливі зв'язки недоцільно, оскільки серед них є багато несуттєвих, які практично не впливають на функціонування системи і кількість отриманих рішень (з точки зору вирішуваних завдань). Якщо зміна характеристик зв'язку, його виключення (повний розрив), призводять до значного погіршення роботи системи, зниження ефективності, то такий зв'язок - істотний. Одне з найважливіших завдань дослідника - виділити суттєві для розгляду системи в умовах розв'язуваної задачі зв'язки і відокремити їх від несуттєвих. У зв'язку з тим, що вхідні і вихідні полюси системи не завжди вдається чітко виділити, доводиться вдаватися до певних ідеалізацій. Найбільша ідеалізація має місце при розгляді закритої системи.

Закритою називається система, яка не взаємодіє з середовищем або взаємодіє з середовищем строго визначеним чином. У першому випадку вважають, що система не має вхідних полюсів, а в другому, що вхідні полюси є, але вплив середовища носить постійний характер і повністю (заздалегідь) відомий. Очевидно, що при останньому припущенні дії ззовні можуть бути віднесені власне до системи, і її можна розглядати, як закриту. У закритій системі, будь-який її елемент має зв'язки тільки з елементами самої системи.

Зрозуміло, що закриті системи являють собою деяку абстракцію реальної ситуації, оскільки, строго кажучи, ізольованих систем не існує. Однак, відмова від зовнішніх зв'язків приводить до спрощення опису системи і це дозволяє спростити процес дослідження системи. Усі реальні системи тісно або слабо пов'язані з зовнішнім середовищем - відкриті. Якщо тимчасовий розрив або зміна характерних зовнішніх зв'язків не викликає змін у функціонуванні системи понад встановлені заздалегідь межі, то система пов'язана з зовнішнім середовищем слабо. В іншому випадку - тісно.

Комбіновані системи містять відкриті і закриті підсистеми. Наявність комбінованих систем свідчить про складність комбінації відкритої і закритої підсистем.

В залежності від структури і просторово-часових властивостей системи діляться на **прості, складні й великі**.

Прості - системи, що не мають розгалужених структур, що складаються з невеликої кількості взаємозв'язків і невеликої кількості елементів. Такі елементи служать для виконання найпростіших функцій, в них не можна виділити ієрархічні рівні. Відмінною особливістю простих систем є детермінованість (чітка визначеність) номенклатури, числа елементів і зв'язків як усередині системи, так і з середовищем.

Складні - характеризуються великим числом елементів і внутрішніх зв'язків, їх неоднорідністю, структурною різноманітністю, виконують складну функцію або ряд функцій. Компоненти складних систем можуть розглядатися як підсистеми, кожна з яких може бути деталізована ще більш простими підсистемами і т.д. до тих пір, поки не буде отриманий елемент.

Великою системою називають систему, число підсистем якої дуже велике, а склад різномірний.

Система може бути і великою і складною. Складні системи об'єднують ширшу групу систем, тобто великі - підклас складних систем.

Основоположними при аналізі та синтезі великих і складних систем є процедури **декомпозиції і агрегування**.

Декомпозиція - поділ систем на частини, з подальшим самостійним розглядом окремих частин. Декомпозиція є потужним інструментом дослідження складних систем.

Агрегування є поняття, протилежне декомпозиції. У процесі дослідження виникає необхідність об'єднання елементів системи з метою розглянути її з більш загальних позицій.

Декомпозиція та агрегування – це дві протилежні сторони підходу до розгляду великих і складних систем, що існують в діалектичній єдності.

Системи, для яких стан системи однозначно визначається початковими значеннями і може бути передбачене для будь-якого наступного моменту часу, називаються **детермінованими**.

Стохастичні системи - системи, зміни в яких носять випадковий характер. При випадкових впливах даних про стан системи недостатньо для передбачення її поведінки в наступний момент часу.

За ступенем організованості системи поділяються на: **добре організовані, погано організовані (дифузні)**.

Уявити аналізований об'єкт або процес у вигляді добре організованої системи означає визначити елементи системи, їх взаємозв'язок, правила об'єднання в більш великі структури. Проблемна ситуація може бути описана у вигляді математичного виразу. Розв'язок задачі при поданні її у вигляді добре організованої системи здійснюється аналітичними методами формалізованого представлення системи.

Приклади добре організованих систем: Сонячна система, що описує найбільш істотні закономірності руху планет навколо Сонця; відображення атома у вигляді планетарної системи, що складається з ядра і електронів; опис роботи складного електронного пристрою за допомогою системи рівнянь, що враховує особливості умов його роботи (наявність шумів, нестабільності джерел живлення і т. п.).

Опис об'єкта у вигляді добре організованої системи застосовується в тих випадках, коли можна запропонувати детермінований опис і експериментально довести правомірність його застосування (**адекватність**). Спроби застосувати клас добре організованих систем для представлення складних багатокомпонентних об'єктів або багатокритеріальних задач малоефективні: вони вимагають неприпустимо великих витрат часу, практично не реалізуються і дають неадекватні результати.

При поданні об'єкта у вигляді погано організованої (дифузійної) системи не ставиться завдання визначити всі компоненти, що враховуються, їх властивості та зв'язки між ними і цілями системи. Система характеризується деяким набором макропараметрів і закономірностями, які знаходяться на основі дослідження не всього об'єкта або класу явищ, а за допомогою деяких правил вибірки компонентів, що характеризують досліджуваний об'єкт або процес. На основі такого вибіркового дослідження отримують характеристики чи закономірності (статистичні, економічні) і поширюють їх на всю систему. При цьому робляться відповідні застереження. Наприклад, при отриманні статистичних закономірностей їх поширюють на поведінку всієї системи з деякою довірчою ймовірністю.

Підхід до відображення об'єктів у вигляді дифузних систем широко застосовується при: описі систем масового обслуговування, визначенні чисельності штатів на підприємствах та установах, дослідженні документальних потоків інформації в системах управління і т. д.

З точки зору характеру функцій розрізняються **спеціальні, багатофункціональні, і універсальні** системи.

Для спеціальних систем характерне вузьке призначення, вузька професійна спеціалізація обслуговуючого персоналу (система порівняно нескладна).

Багатофункціональні системи дозволяють реалізувати на одній і тій же структурі декілька функцій. Приклад: виробнича система, що забезпечує випуск різної продукції в межах певної номенклатури.

Для універсальних систем: реалізується велика кількість дій на одній і тій же структурі, однак склад функцій по виду і кількості менш однорідний (менше визначений). Наприклад, комбайн.

За характером розвитку системи поділяються на **стабільні** і такі, що **розвиваються**.

У стабільної системи структура і функції практично не змінюються протягом всього періоду її існування і, як правило, якість функціонування стабільних систем у міру зношування їх елементів тільки погіршується.

Відмінною особливістю систем, що розвиваються, є те, що з плином часу їх структура і функції набувають істотних змін. Функції такої системи більш постійні, хоча часто і вони видозмінюються. Практично незмінними залишається лише їх призначення. Системи, що розвиваються, мають більш високу складність.

За поведінкою системи поділяються на **автоматичні, вирішуючі, самоорганізовані, прогнозовані, що перетворюються**.

Автоматичні: однозначно реагують на обмежений набір зовнішніх впливів, внутрішня їх організація пристосована до переходу в рівноважний стан при виведенні впливу (гомеостаз).

Вирішуючі: містять сталі критерії розпізнавання зовнішнього впливу та сталі алгоритми реакції на широкі класи зовнішніх впливів. Сталість внутрішньої структури підтримується заміною елементів, що вийшли з ладу.

Самоорганізовані: містять гнучкі критерії розпізнавання та гнучкі реакції на зовнішні впливи, пристосовуються до різних типів впливу. Стійкість внутрішньої структури таких систем забезпечується постійним самовідтворенням.

Самоорганізовані системи мають ознаки дифузних систем: стохастичність поведінки, нестационарність окремих параметрів і процесів. До цього додаються такі ознаки, як непередбачуваність поведінки; здатність адаптуватися до мінливих умов середовища, змінювати структуру при взаємодії системи з середовищем, зберігаючи при цьому властивості цілісності; здатність формувати можливі варіанти поведінки і вибирати з них найкращий та ін.

Приклади: біологічні організми, колективна поведінка людей, організація управління на рівні підприємства, галузі, держави в цілому.

Якщо стійкість по своїй складності починає переважати складність впливу зовнішнього світу - це прогнозовані системи: вона може передбачити подальший хід взаємодії.

Системи, що перетворюються - це уявні складні системи на вищому рівні складності, не пов'язані постійністю існуючих носіїв. Вони можуть змінювати матеріальні носії, зберігаючи свою індивідуальність. Науці приклади таких систем поки не відомі.

Систему можна розділити на види за ознаками структури їх будови та значущості тієї ролі, яку відіграють у них окремі складові частини в порівнянні з ролями інших частин.

У деяких системах одній з частин може належати домінуюча роль (її значимість $\gg$ (символ переваги) значимості інших частин). Такий компонент буде виступати як центральний, що визначає функціонування всієї системи. Такі системи називають **централізованими**.

В інших системах всі складові їх компоненти приблизно однаково значущі. Структурно вони розташовані не навколо деякого централізованого компонента, а взаємопов'язані послідовно або паралельно і мають приблизно однакові значення для функціонування системи. Це **децентралізовані** системи.

Системи можна класифікувати за призначенням. Серед технічних та організаційних систем виділяють: **виробничі, керуючі, обслуговуючі.**

У виробничих системах реалізуються процеси отримання деяких продуктів або послуг. Вони в свою чергу діляться на матеріально-енергетичні, в яких здійснюється перетворення природного середовища або сировини в кінцевий продукт матеріальної або енергетичної природи, або транспортування такого роду продуктів; та інформаційні - для збору, передачі і перетворення інформації та надання інформаційних послуг.

Питання підсумкового контролю:

1. Сучасні уявлення про загальну теорію систем.
2. Історія розвитку системних уявлень.
3. Основні напрямки системних досліджень.
4. Передумови та необхідність виникнення системного підходу.
5. Предмет системного аналізу.
6. Принципи системного підходу.
7. Поняття системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, елементу, функції, стану, процесу.
8. Загальні підходи до класифікації систем.

Тема 2. Моделювання систем.

2.1. Поняття моделі.

В методології (вчення про методи дослідження) пізнання навколишнього світу вагомим місце займають поняття **моделювання** та **моделі**.

Модель (грец. – еталон, зразок, образ) – це об'єкт-замінник об'єкта-оригінала. Образи об'єктів навколишнього світу називають **моделями**.

Моделі дозволяють відтворити окремі властивості реальних об'єктів або сукупність їх властивостей.

Науковою основою моделювання як методу пізнання та дослідження різних природних об'єктів і процесів є **теорія подібності**.

В основі теорії подібності лежить поняття аналогії. Аналогія визначає відповідність між об'єктами за певною сукупністю ознак.

Аналогія може встановлюватись за якісними або кількісними ознаками.

Якщо подібність встановлюється за кількісними ознаками, то говорять про математичну подібність.

Математична подібність встановлюється тоді, коли об'єкти чи процеси характеризуються величинами і функціями одного і того ж виду.

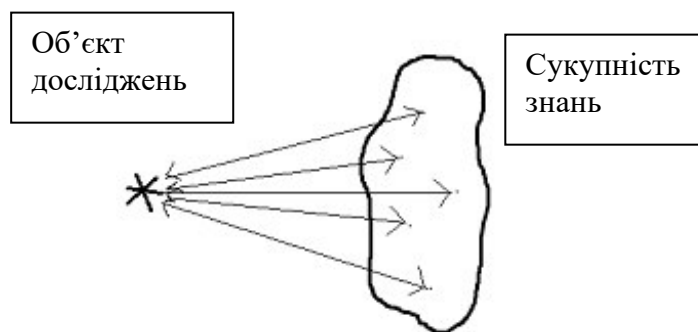
Приклад 1. Функція виду $f(\vec{r}, t) = Ae^{i \cdot (\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$ описує хвильовий процес. Можуть розглядатися хвилі на поверхні води, звукові хвилі, електромагнітні, хвилі густини ймовірності тощо. Зазначені процеси є подібними чи аналогічними.

Крім математичної подібності виділяють фізичну подібність.

Фізичну подібність між властивостями об'єктів встановлюють в результаті проведення серії експериментів.

Фізичну подібність можна встановити без математичного опису на основі експериментальних даних.

Основним завданням наукових досліджень є побудова аналогій між реальним об'єктом і науковим поняттям (основна мета – встановлення зв'язків між властивостями об'єктів і науковими поняттями).



Для того, щоб розпізнавати об'єкти і явища потрібно, щоб людина володіла інформацією про об'єкти і явища. Для того, щоб проводити відповідні аналогії потрібні знання.

Під час побудови моделей в першу чергу опираються на:

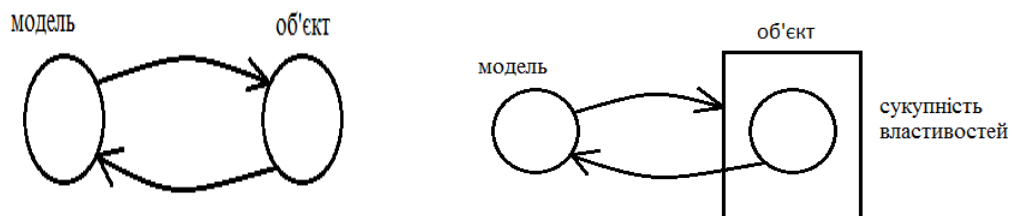
- 1) подібність (між об'єктами, процесами, науковими знаннями);
- 2) використання основних законів природи.

Моделі є спрощеними об'єктами, які дозволяють в багатьох випадках виявити природу реальних об'єктів чи явищ.

Моделі поділяються на **ізоморфні** та **гомоморфні**.

Якщо існує взаємно-однозначна відповідність між об'єктом і моделлю, на основі якої можна отримати повну інформацію про об'єкт чи модель, то модель називають **ізоморфною**.

Якщо властивості моделі можна переносити на реальний об'єкт, а оберненої відповідності не існує, то модель називається **гомоморфною**.



Розрізняють моделі трьох типів: **пізнавальні** (є формою організації і подання знань, засобом поєднання нових і старих знань), **прагматичні** (засоби організації практичних дій – прикладні моделі), **інструментальні** (засоби побудови/дослідження пізнавальних чи прагматичних моделей).

Моделювання – це універсальний метод отримання, опису та використання знань. Метод використовується в будь-якій професійній діяльності. Моделювання – метод аналізу систем. Часто в системному аналізі при модельному підході дослідження може виникати методологічна помилка: модель, що побудована без врахування зв'язку системи з середовищем часто служить підтвердженням наслідку теореми Геделя: в складній ізольованій системі можуть існувати істини і висновки, що коректні в цій системі і некоректні поза її межами.

2.2. Класифікація моделей.

Усі моделі поділяються на **фізичні** (матеріальні) та **абстрактні**. Матеріальні існують в матеріальній сфері, абстрактні існують в інформаційній сфері. В свою чергу фізичні моделі поділяються на **натурні** та **макетні**.

Натурна модель є існуючою системою або її частиною. Натурні моделі використовуються для проведення експериментів (експериментальних

досліджень). Натурні моделі адекватні реальним системам (модель називають адекватною, якщо вона повністю відповідає реальному об'єкту чи системі). Тому під час досліджень натурних моделей отримують правдиву інформацію про систему (висока точність отриманої інформації).

Макетні моделі – реально існуючі моделі, які відтворюють реальну систему у певному масштабі (тобто існує певна подібність між моделлю і системою, наприклад, геометрична подібність).

Макетні моделі широко використовуються, наприклад, під час вивчення гідродинамічних, аеродинамічних процесів.

Абстрактні моделі є описами об'єкта досліджень засобами певної мови. Абстрактність проявляється у тому, що мова опису оперує певними образами, абстрактними поняттями (функції, таблиці схеми, алгоритми, рівняння, слова тощо).

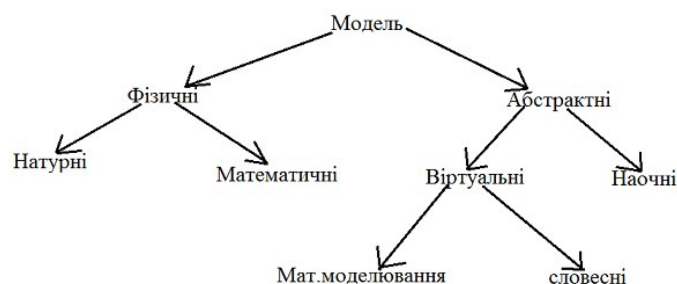
Абстрактні моделі поділяються в свою чергу на **віртуальні** та **наочні**.

Наочна модель відтворює реальний об'єкт за допомогою графічних образів (наприклад, креслення).

Для побудови наочних моделей в наш час використовують спеціалізовані програми-автокади.

Віртуальні моделі поділяють на словесні та математичні. У словесних моделях системою образів, на основі яких відбуваються побудови є слова мови спілкування.

Відмічаємо, що математична модель – це абстрактна модель, яка подається мовою математичних відношень (логічні висловлювання, рівняння тощо).



Для оцінки ефективності моделей використовують певні показники ефективності та певні критерії ефективності.

Показник ефективності – це певна міра відображення властивості моделі (подається за допомогою чисельних величин).

Типовими показниками ефективності є точність моделювання, вартість моделювання тощо.

Критерій ефективності – це інтегральна (сумарна) характеристика показників ефективності системи. Отже, критерій ефективності узагальнює усі міри властивостей моделі.

На практиці інколи виникає задача пошуку оптимальної моделі. Очевидно, що такій моделі буде відповідати екстремальне значення (максимум, мінімум) критерію ефективності.

2.3. Математичні моделі. Класифікація математичних моделей.

Математичні моделі – це комплекси математичних залежностей та знакових логічних виразів, які відображають властивості об'єкта чи процесу.

За ступенем подібності моделі об'єкту та способом подальшого використання математичні моделі поділяються на **аналітичні** та **імітаційні**.

При аналітичному моделюванні досягають подібності характеристик моделі і об'єкта. Аналітична модель відображає у першу чергу властивості зв'язків між елементами досліджуваної системи. Наприклад, при аналітичному моделюванні процесу коливань маятника відтворюють функціональну залежність між кутом відхилення маятника та часом:

$$\alpha(t) \approx \sin \omega \cdot t.$$

Імітаційна модель відтворює процес, поведінку системи у реальному масштабі часу (умовний зв'язок системи з навколишнім середовищем). При імітаційному моделюванні головним є не відображення механізму функціонування системи, а результат. Наприклад, при імітаційному моделюванні маятника на екрані комп'ютера відтворюють процес коливань.

Аналітичні моделі досліджуються одним із наступних способів:

- **Якісний аналіз.** Це спосіб дослідження, при якому вивчаються деякі загальні властивості розв'язків модельних задач без визначення їх у явному вигляді. Цей підхід застосовують у тому випадку, коли пошук розв'язків іншими методами затруднений, або тоді, коли потрібно оцінити ефективність проведеного аналізу досліджуваної системи.
- **Аналітичний аналіз.** При застосуванні аналітичного способу аналізу отримують явні функціональні залежності між характеристиками об'єкта чи процесу. При цьому опираються на методи математичного аналізу, лінійної алгебри, теорії ймовірностей тощо.
- **Чисельний (дискретний) аналіз.** Застосовується у тих випадках, коли розв'язок поставленої задачі не можна знайти аналітичними способами. Тобто не можна явно виписати функціональні залежності між шуканими величинами. В дослідженнях використовують чисельні методи та засоби обчислюваної техніки.

Способи досліджень відрізняються ефективністю. Найбільш універсальними є чисельні методи. Найбільш інформативними – аналітичні методи.

Імітаційне моделювання нагадує фізичний експеримент. Імітаційна модель дозволяє отримати інформацію про об'єкт досліджень шляхом

безпосереднього спостереження за моделлю, а не внаслідок аналізу математичних формул. Перевагою імітаційного моделювання є наочність.

Математичні моделі можна класифікувати за різними ознаками.

З точки зору співвідношень, які відображають залежності між параметрами системи розрізняють **стаціонарні** та **нестационарні** моделі.

Якщо у моделі є величини, які змінюються з плином часу, то такі моделі називаються нестационарними, інакше – стаціонарними.

Стаціонарні моделі описуються системами алгебраїчних рівнянь, нестационарні – системами диференціальних.

Моделі бувають **лінійні** і **нелінійні**.

Моделі називаються **лінійною**, якщо величини, що характеризують досліджувану систему входять до математичної моделі у вигляді лінійних комбінацій.

У протилежному випадку модель називається **нелінійною**.

Означення лінійності моделі ґрунтується на використанні поняття оператора. Оператор – узагальнене поняття функції, яке визначає відображення однієї множини функцій в іншу множину функцій.

Якщо модель характеризують певні лінійні комбінації, та лінійні оператори, то повинна виконуватись умова:

$$L(\sum_i c_i x_i) = \sum_i c_i Lx_i ,$$

де сума $\sum_i c_i x_i$ - лінійна комбінація параметрів моделі. x_i - параметр моделі, який визначає функцію, що залежить від певних аргументів (просторових чи часових), c_i - сталі, L – оператор.

Наприклад, лінійними операторами є оператори виду:

$$L_1 = a;$$

$$L_2 = \frac{d}{dt}.$$

Лінійні моделі та методи їх аналізу відомі людству давно. Нелінійні моделі почали широко вивчатись у XX ст. у зв'язку з необхідністю вивчення, наприклад, саморегульованих систем (генераторів сигналів).

Не існує універсальних методів розв'язання нелінійних задач.

Найчастіше для аналізу нелінійних моделей використовують методи **лінеаризації** (наближення лінійності), яке справедливе при незначній зміні характеристик математичної моделі. Тому вивчення лінійних задач необхідне і, в тому числі, для проведення досліджень і нелінійних систем.

Математичні моделі бувають **детерміновані** і **стохастичні**.

У детермінованих моделей усі характеристики визначаються детермінованими значеннями або функціями (невипадковими, однозначно визначеними). Проте на досліджувану систему можуть впливати різні неконтрольовані чинники, які розглядаються як випадкові події. І якщо хоча б один параметр моделі є імовірнісною величиною або функцією, то модель називається **стохастичною**. Стохастичні моделі вивчає теорія ймовірностей та теорія випадкових процесів.

Математичні моделі також поділяються на неперервні та дискретні. В тому випадку, коли величина, що характеризує явище чи об'єкт визначена на усьому проміжку її зміни, то модель називається **неперервною**. Якщо визначена лише для певних значень області зміни – **дискретною**. У більшості випадків математичні моделі проходять етап дискретизації (заміна моделі дискретною обчислювальною схемою) для подальшого програмування і аналізу за допомогою ЕОМ.

Математичні моделі поділяються на:

- з **концентрованими параметрами**;
- з **розподіленими параметрами**.

Математичні моделі з концентрованими параметрами описуються звичайними диференціальними рівняннями, з розподіленими – диференціальними рівняннями в частинних похідних.

Наприклад, коливання маятника описується математичною моделлю з концентрованими параметрами, а хвильовий процес – з розподіленими.

Методи сучасної математики дозволяють використовувати для опису одного і того ж явища математичні моделі різного виду.

2.4. Етапи моделювання.

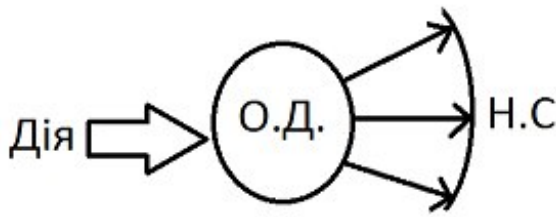
Процес моделювання полягає в першу чергу у виділенні найбільш суттєвих рис, властивостей досліджуваної системи, запису їх при допомозі математичних співвідношень, а також у використанні отриманих співвідношень (отримують інформацію про властивості системи). Такий підхід (у подальшому його будемо називати аналізом) вперше запропонував Галілей.

Розробка моделі – системна задача, яка потребує вивчення початкових даних, гіпотез, теорій, знань спеціалістів.

У загальному випадку процес розробки моделі включає наступні етапи:

- 1) постановка задачі;
- 2) побудова математичного опису;
- 3) пошук розв'язку поставленої задачі;
- 4) аналіз розв'язків, перевірка адекватності моделі;
- 5) використання результатів моделювання.

Наукові знання з'явилися у результаті вивчення об'єкта досліджень, яке в загальному випадку проходить за наступною схемою:



Об'єкт дослідження розглядається тут як «чорна скринька». Тут можна провести аналогію між науковими дослідженнями і розробкою математичної моделі методом «чорної скриньки» (див. нижче).

В процесі взаємодії з об'єктом дослідження визначаються характеристики досліджуваної системи, з'являється початкова інформація про систему.

На даному етапі з'являються гіпотези, проводяться аналогії, здійснюються постановки задач.

Побудова математичного опису, розробка моделі полягає у встановленні функціональних зв'язків між параметрами процесу чи характеристиками об'єкта.

При побудові опису враховується доступна інформація про досліджувану систему (див. п. 1), враховуються особливості системи та певні обмеження (наближення).

При побудові математичного опису, використовують такі способи опису:

- детермінований;
- статистичний.

При детермінованому способі використовуються фундаментальні закони, аксіоми, теореми. Результатом опису є аналітичні співвідношення між параметрами.

Статистичний опис проводиться на основі статистичної обробки даних, що отримані в результаті проведених експериментів.

На етапі пошуку розв'язку знаходять явні функціональні залежності шуканого параметра від системи інших параметрів.

Для пошуку таких функцій використовують методи математичного аналізу, лінійної алгебри, теорії диференціальних та інтегральних рівнянь і т.д.

Якщо в явному вигляді шукані залежності отримати не можна, застосовують методи чисельного аналізу (ці методи характеризуються універсальністю).

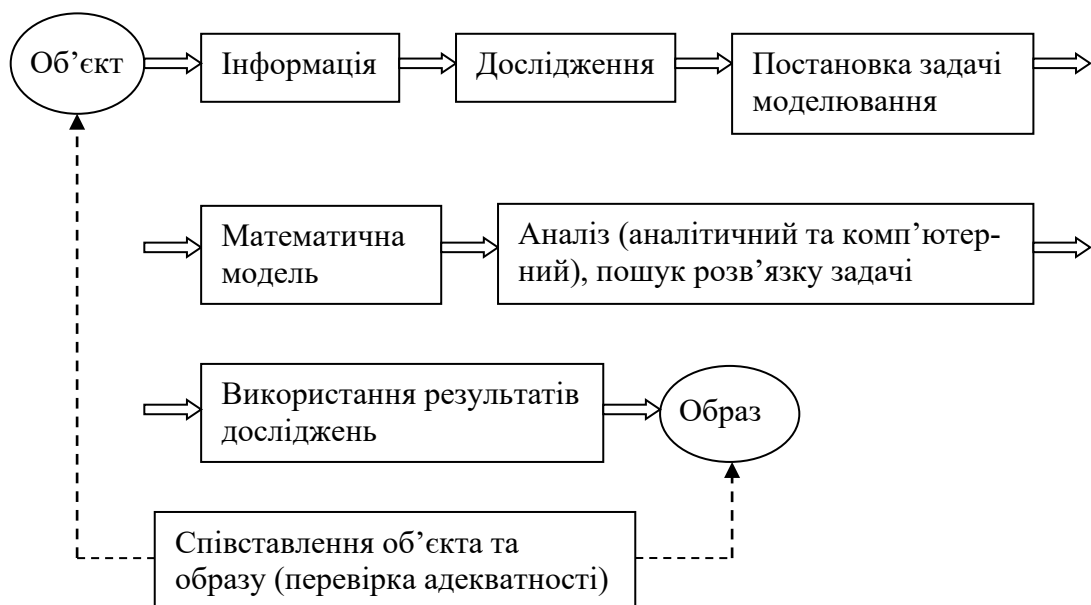
Якщо застосовуються чисельні методи, то до процесу розробки моделі потрібно додати наступні етапи:

- 1) етап розробки алгебраїчного розв'язку задачі;

- 2) етап написання програми (запис алгоритму засобами певної мови програмування);
- 3) етап налагодження програми (пошук логічних та синтаксичних помилок);
- 4) етап оформлення документації (запис необхідних пояснень).

Із залученням комп'ютерної техніки, як правило, розв'язуються задачі, для яких проведення експерименту потребує багато ресурсів, для яких експерименти пов'язані з небезпечними технологічними режимами, для яких інші методи не дають результату, для яких важко підтримувати задані режими експерименту.

На етапі використання математичних моделей в першу чергу здійснюють перевірку моделі на **адекватність** (відповідність). Якщо виявиться, що отримана модель неадекватна, то здійснюють коригування основних позначень моделі (умов, рівнянь, припущень). Перевірку на адекватність потрібно проводити завжди, оскільки модель є наближеним відображенням реальності. Відобразимо загальну схему проведення наукових досліджень.



Пунктирні лінії відображають перевірку моделі на адекватність. Якщо відповідність моделі об'єкту є, розробка математичної моделі завершується, якщо ні – то виконується коригування постановки задачі моделювання і, як наслідок, повторюються усі інші етапи розробки моделі. Відмітимо, що процес розробки математичної моделі – це ітераційний процес.

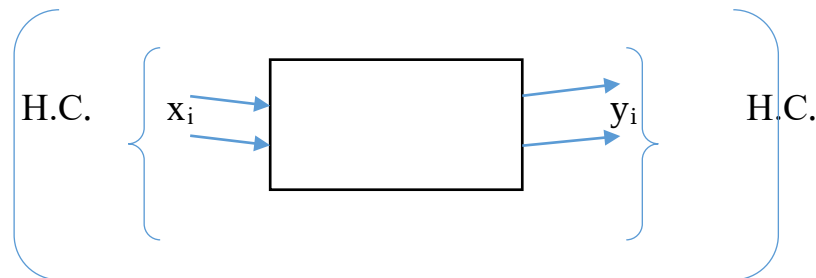
2.5. Модель «чорної скриньки».

В усіх означеннях системи наголос робиться на склад, структуру та мету функціонування систем. Важливу для людини роль відіграють наглядні, образні, візуальні моделі (людина мислить образами). Внутрішню будову системи часто подають у вигляді «чорної скриньки» (образна модель, яка замінює внутрішню будову будь-якої системи). В рамках цієї моделі (системи) відбувається виділення системи із оточуючого середовища (Н.С.).

Такий підхід відображає основні властивості системи:

- цілісність;
- відокремлення від середовища;
- функції системи.

Особливості моделі «чорної скриньки» є також і те, що в ній вказується зв'язок системи з навколишнім середовищем (опосередковано). В загальному вигляді модель «чорної скриньки» подається схемою:



X_i – входи системи (фактори, фактори впливу),

Y_i – виходи системи (цільові функції).

Приклади:

1. $\bar{y}(t) = L\bar{x}(t)$, де L – оператор, який перетворює сімейство функцій $\bar{x}(t)$ у іншу множину функцій $\bar{y}(t)$. Якщо структура оператора L не відома, то він є аналогом «чорної скриньки», при цьому мають бути відомі $\bar{x}(t)$ та $\bar{y}(t)$.

2. Економічну систему також можна розглядати із використанням моделі «чорної скриньки».



X – сировина, L – праця.

Зв'язок між вихідними параметрами (X, L) і вихідним параметром тут встановлюється за допомогою степеневих комплексів (функцій виду $Y = AX^{\alpha_1}L^{\alpha_2}$, де A, α_1, α_2 – сталі, значення яких знаходяться на основі експериментальних залежностей між Y, X, L).

Виходи в багатьох випадках співставляються з метою функціонування системи. **Мета економічної системи** – отримання прибутку на основі випуску продукції (виходи «чорної скриньки» Y за змістом – випуск продукції).

У деяких випадках входи та виходи систем описуються якісно. Наприклад, входами системи можуть бути органи управління, виходами – зображення, звук.

Назва «чорна скринька» образно підкреслює відсутність інформації про вміст «скриньки». В цій моделі фіксуються, перераховуються тільки вхідні і вихідні зв'язки системи із середовища.

Приклад:

1. Стандартна бібліотечна функція є моделлю типу «чорна скринька». Алгоритм функції від користувача прихований. Відомі лише параметри (вхідні, вихідні), які забезпечують обмін даними.

Незважаючи на простоту побудови моделі «чорної скриньки», при її застосуванні до опису реальних систем виникають труднощі. Проілюструємо це на прикладах.

1. Опишемо виходи-входи системи годинник. Мета функціонування такої системи – відображення часу у довільні моменти. Ця мета описує функцію усіх годинників. Якщо ввести в розгляд додаткові умови (наприклад, годинник буде наручним), то потрібно додати ще один вихід системи - зручність у використанні. Якщо рухатись цим шляхом, то можуть з'явитися інші виходи (міцність, надійність, прив'язка до системи одиниць тощо). Отже, список параметрів може бути великим.
2. Наступний приклад ілюструє проблему визначення вхідних параметрів. В автомобіля вхідними параметрами є органи управління. В якості вхідних параметрів можна розглядати двері салону, кришку багажника тощо. Аналогічно пальне, масло і т.д. теж вхідні параметри. Цей список можна продовжувати.

Розглянуті приклади свідчать про те, що побудова моделі чорної скриньки не є тривіальною задачею, оскільки відповідь на питання - скільки і яких входів\виходів повинна мати модель - є неоднозначною.

Розглянемо причини цього факту. Головна причина – будь-яка система взаємодіє з навколишнім середовищем нескінченним числом способів. Тому в якості вхідних параметрів відбирають лише ті, які забезпечують приведення системи до визначеної мети (критерій відбору вхідних даних). Під час визначення мети функціонування і як наслідок визначення входів можуть виникати помилки. Інколи головну мету функціонування можуть супроводжувати додаткові умови. Це ускладнює процес розробки моделі. Інколи головна мета і другорядні можуть вступати в протиріччя.

Наприклад: *головна мета* - розробка надзвукового пасажирського літака; *додаткова мета* – забезпечення належного рівня комфорту. Ці цілі знаходяться у протиріччі.

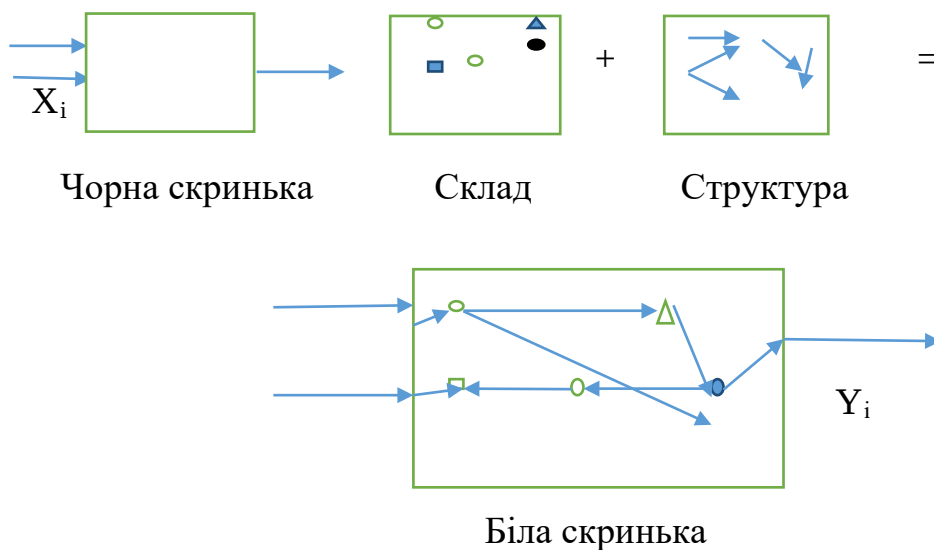
Модель «чорної скриньки» інколи стає єдиною доступною для використання дослідниками. Наприклад, тестувальник програмного забезпечення опирається лише на дану модель.

2.6. Модель «білої скриньки».

Модель «чорної скриньки» буде цікавою на кожному етапі пізнання, оскільки завжди знайдуться такі об'єкти, будова яких буде залишатися невідомою, але прояв таких об'єктів у навколишньому світі можна спостерігати і вивчати (речовина → молекула → атом → ядро → нейтрон → елементарні частинки - ...). Очевидно, що модель «чорної скриньки» не дає уявлення про внутрішню будову системи і можливі взаємодії складових системи. І очевидно, що модель «чорної скриньки» потрібно удосконалити.

У моделі «біла скринька» з'являються нові елементи, які, крім механізму взаємодії системи з навколишнім середовищем, дають уявлення про склад системи та структуру системи (названі складові визначають будову системи).

Складові, що визначають модель «білої скриньки»:



Частини системи, які розглядаються як неподільні називаються **елементарними**. Частини системи, які складаються більш, ніж з одного елемента, називаються **підсистемами** (програма → підпрограма).

У системі «сім'я» можна виділити такі підсистеми: «члени сім'ї» (чоловік, дружина, діти), «майно» (житло, меблі тощо).

Побудова моделі «складу» є нетривіальною задачею. Різні експерти можуть запропонувати різні моделі «складу». Це обумовлено тим, що:

1. поняття елемента визначається по-різному (що з однієї точки зору є елементом, з іншої – підсистемою);
2. під час формування моделі «складу» переслідуються різні цілі, для різних цілей (їх досягнення) потрібно один і той же об'єкт розділяти по-різному;
3. склад однієї і тієї ж системи може відрізнитися через те, що поділ на елементи є відносним і в певній мірі умовним.

Відмітимо, що зв'язки в системі відіграють визначну роль. Вони забезпечують об'єднання елементів в ціле. (Для того, щоб отримати

велосипед не достатньо мати набір деталей, потрібно мати правило об'єднання деталей між собою - відношення).

Сукупність необхідних і достатніх для досягнень мети відношень між елементами називається **структурою системи**. Відмітимо, що під час вивчення структури системи широко використовують графові моделі. При цьому використовують як орієнтовані, так і неорієнтовані, розмічені і нерозмічені графи, тощо.

Наприклад, стрілки в орієнтованому графі визначають напрямок взаємодії (підпорядкування). Розмітку використовують для визначення сили зв'язку. Силу зв'язку проілюструємо на прикладі: В склад включаємо молекули води. Сили зв'язку можуть бути слабкі, середні, сильні. В підсумку отримаємо пару, рідину, тверде тіло.

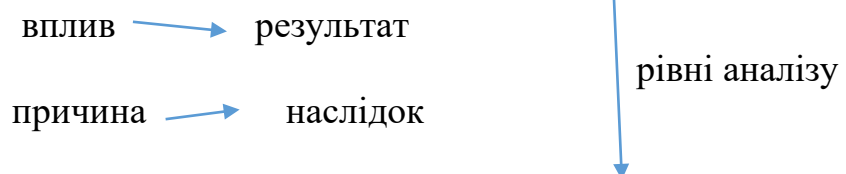
Зауважимо, що при аналізі зв'язків розглядаються такі поняття як **відношення** і **властивість**. У відношенні бере участь не менше двох об'єктів, а властивістю називають атрибут відношення, або атрибут об'єкта (в програмуванні – методи об'єкта). Ці відмінності враховуються під час математичного опису системи. В деяких випадках властивість (атрибут) може бути частинним випадком відношення.

Приклад.

Розглянемо об'єкт «червоне скло». Термін «червоне» визначає атрибут (властивість) даного об'єкта. З іншого боку ця властивість є результатом взаємодії об'єкта з навколишнім середовищем (світло→скло→око). Тобто маємо справу із прихованими відношеннями (зв'язками) об'єкта з навколишнім середовищем.

Властивість може розглядатися не як атрибут об'єкта, а як певна абстракція, яка дозволяє спрощувати процес мислення (процес аналізу).

Властивість – це згорнуті відношення(зв'язки).



При вивченні структури систем використовуються наступні способи опису графових моделей (відрізняються за способом опису):

- якісний,
- графічний,
- табличний,
- алгебраїчний.

Приклади опису структури:



а) графічний -

б) табличний -

	1	2
1	0	1
2	1	1

в) алгебраїчний – $G(V,E)$, $V=(1,2)$, $E=(\{1,2\}, \{2,1\}, \{2,2\})$.

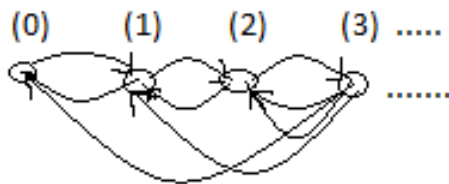
2.7. Використання графових моделей у теорії систем.

Опис структури систем передбачає використання графів наступних типів:

- 1) лінійні;
- 2) деревоподібні (зокрема, бінарні дерева);
- 3) матричні;
- 4) мережеві;
- 5) структури із зворотними зв'язками.

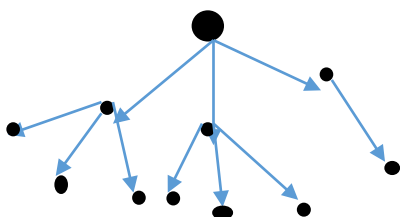
За допомогою відповідних графів можна відобразити склад, структуру, а також стани системи.

Стан – це сукупність значень, які характеризують систему в процесі її функціонування. Наприклад, стан механічної динамічної системи описують такі характеристики: вектор координат, вектор швидкостей, вектор прискорення. Стан черги може визначати кількість елементів у черзі (рис.).



Потрібно відрізняти структурний граф від графа станів. Система «автомобіль»: структурний граф (деревоподібний) являє собою опис підсистем автомобіля, а граф станів – опис технічного стану автомобіля.

Структурний граф автомобіля
(двигун – трансмісія – кузов – тощо)



Граф станів (працює – не працює)

