

Тема 2. Моделювання. Основні поняття.

Види моделей, їх класифікація.

Вимоги до моделей

2.1. Поняття моделювання

Моделювання — це спосіб дослідження будь-яких явищ, процесів або об'єктів шляхом побудови й аналізу їх моделей. У широкому розумінні моделювання є однією з основних категорій теорії пізнання і мало не єдиним науково обґрунтованим методом наукових досліджень систем і процесів будь-якої природи в багатьох сферах людської діяльності.

На сьогоднішній день моделюванню приділяється значна увага. Невипадково один з найпотужніших у світі суперкомп'ютер NEC Vector SX6 (Earth-Simulator), за даними рейтингу Top500 ([www://top500.org](http://www.top500.org)), встановлений у центрі моделювання Землі в Йокогамі (Японія). Цей комп'ютер призначений для моделювання основних властивостей складових кліматичної системи Землі: атмосфери, океану, кріосфери, поверхні суші і біосфери, а також зовнішніх і внутрішніх факторів у системі, яка визначає глобальний клімат і його зміни.

Розглянемо основні поняття загальної теорії систем і моделювання.

2.2. Поняття системи

Основними поняттями в теорії і практиці моделювання об'єктів, процесів і явищ є поняття "система" і "модель".

У перекладі з грецької "systema" – це ціле, яке складається з частин; об'єднання. Термін "система" існує вже більш ніж два тисячоліття, проте, різні дослідники визначають його по-різному. На сьогодні існує понад 500 визначень терміна "система". Проте, використовуючи будь-яке з них, насамперед потрібно мати на увазі ті завдання, які ставить перед собою дослідник. Системою може бути і один комп'ютер, і автоматична лінія або технологічний процес, в яких комп'ютер є лише одним з компонентів, і все підприємство або декілька різних підприємств, що функціонують як єдина система в одній галузі промисловості. Те, що один дослідник визначає як систему, для іншого може бути лише компонентом складнішої системи.

Для всіх визначень системи спільним є те, що *система* – цілісний комплекс взаємозв'язаних елементів, який має певну структуру і взаємодіє із зовнішнім середовищем. *Структура* системи – це організована сукупність зв'язків між її елементами. Під таким зв'язком розуміють можливість впливу

одного елементу системи на інший. *Середовище* – це сукупність елементів зовнішнього світу, які не входять до складу системи, але впливають на її поведінку або властивості. Система є *відкритою*, якщо існує зовнішнє середовище, яке впливає на систему, і *закритою*, якщо зовнішнє середовище відсутнє або не враховується, у зв'язку з поставленими цілями досліджень.

Одне з перших визначень системи (1950 рік) належить американському біологові Л. фон Берталанфі, згідно з яким система складається з деякої кількості взаємозв'язаних елементів. Оскільки між елементами системи існують певні взаємозв'язки, то повинні бути структурні відношення. Таким чином, система — це щось більше, ніж сукупність елементів. Аналізуючи систему, потрібно враховувати оцінку системного (синергетичного) ефекту. Властивості системи відмінні від властивостей її елементів, і залежно від властивостей, якими цікавляться дослідники, та ж сама сукупність елементів як може бути системою, так і не бути нею. Багато дослідників визначають систему як *цілеспрямовану* множину взаємозв'язаних елементів будь-якої природи. Згідно з цим визначенням система функціонує для досягнення деякої мети. Це визначення цілком правильне для соціологічних і технічних систем, але погано підходить для систем навколишньої природи (наприклад, біологічних), мета функціонування яких не завжди відома.

Визначення поняття системи пов'язані з абстрактною теорією систем, в рамках якої використовуються такі рівні абстрактного опису:

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

Найвищий рівень абстрактного опису систем – *лінгвістичний*; ґрунтуючись на ньому, можна отримати всі інші рівні. На цьому рівні вводиться поняття предметної області, для опису якої застосовуються моделі алгебри, пов'язані з деякою мовою. Для опису предметної області цією мовою використовуються два рівні формальних мов, за допомогою яких будують логіко-алгебраїчну модель предметної області. На цій моделі підтверджуються

дослідницькі прийоми за допомогою нормального апарату, яким можуть бути теорії, побудовані у вигляді дійсних висловлювань з всієї множини висловлювань.

Таким чином, система – це окремий випадок теорії, описаний формальною мовою, яка уточнюється до мови об'єктів. Для визначення деякого поняття використовують певні символи (алфавіт) і встановлюють правила оперування ними. Сукупність символів і правил користування ними утворює абстрактну мову. Поняття, висловлене абстрактною мовою, означає будь-яке речення (формулу), побудоване за граматичними правилами цієї мови. Допускають, що таке речення містить змінні, що підбираються, так звані **конституенти**, які, маючи тільки певні значення, роблять дане висловлювання істинним.

Якщо існує множина висловлювань G , але лише V з них істинні, то вважають, що має місце теорія L щодо множини G . Якщо припустити, що конституенти в цих висловлюваннях є формально визначеними величинами, то такі висловлювання називаються правильними. Тоді, за визначенням М. Месаровича, система – це множина правильних висловлювань. Усі висловлювання поділяються на два типи: **терми**, які вказують на предмети (об'єкти), і **функтори**, які визначають відношення між термами (об'єктами). Використання термів і функторів дає можливість показати, як, базуючись на лінгвістичному рівні, можна утворити інші рівні абстрактного опису системи.

Наприклад, за допомогою термів і функторів можна показати, як з лінгвістичного рівня абстрактного опису системи виникає теоретико-множинний, якщо вважати, що терми — це множина X_S , за допомогою якої перераховують елементи або, інакше, підсистеми досліджуваних систем, а функтори встановлюють характер відношень між задіяними в описі множинами.

При подальшому викладенні змісту курсу лекцій користуватимемося **теоретико-множинним** визначенням системи (А. Холл, Р. Фейджин і Ф. Фейджин), згідно з яким **система** – це множина об'єктів, між якими існують певні відношення, а також їх атрибути. Під **об'єктами** розуміють компоненти (елементи) системи. Це, наприклад, підсистеми (тобто може існувати ієрархія підсистем) або окремі об'єкти системи. **Атрибути** – це властивості об'єктів. **Відношення** задають певний закон, за яким визначається деяке відображення в одній і тій же множині об'єктів. Згідно з цим визначенням поняття **множина** і **елемент** є аксіоматичними.

Таким чином, система S задається парою елементів:

$$S = (X_S, R_S),$$

де X_S, R_S — множини відповідно елементів (об'єктів) системи і відношень між ними. Відношення визначають взаємодію між об'єктами.

У загальному випадку n -відношення R в множинах $X_1, X_2, \dots, X_n$ є деякою підмножиною декартового добутку¹ $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, який складений з n -вимірних наборів виду $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, де $x_i \in X_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Якщо відношення R в окремому випадку задається, наприклад, деякою функцією, яка визначає зв'язок між певним елементом $x \in X$ і певним елементом y підмножини Y , то $f : X \rightarrow Y$, тобто вважаємо, що

функція f перетворить значення з множини X у значення підмножини Y . Для функції f множина X — це область визначення, а підмножина Y — область значень функції. Функцію f можна розглядати як множину впорядкованих пар елементів (x, y) , де $y = f(x)$.

Що стосується атрибутів системи, то вони подібні до функцій, визначених на підмножині об'єктів. Відмінність атрибутів від функцій полягає в тому, що два різних атрибути з точки зору поняття функції можуть бути однаковими. Атрибут A задається парою елементів — (i, f) , де i — ім'я атрибута, а f — функція, визначена на підмножині об'єктів.

У динамічних об'єктів атрибут також може бути функцією від часу t .

Наприклад, у разі дослідження пропускнуї спроможності ділянок автомобільних доріг об'єктами системи можуть бути перехрестя, розв'язки, поворот і прямолінійні ділянки доріг (статичні об'єкти) та автомобілі (динамічні об'єкти). Властивості (атрибути) динамічних об'єктів, на відміну від властивостей статичних, змінюються в часі. Наприклад, гальмівний шлях автомобіля змінюється залежно від швидкості руху і погодних умов, а прискорення може бути додатнім (під час розгону) або від'ємним (під час гальмування). Відношення в цій системі задаються згідно з правилами дорожнього руху.

Вивчаючи систему більш глибоко, усвідомлюємо, що вона може складатися з підсистем або бути одним з елементів більшої системи, тобто може існувати ієрархія систем. Наприклад, двигун є підсистемою автомобіля, який, у свою чергу, є підсистемою транспортного потоку магістралі.

¹ Декартовим добутком множин A B називається сукупність будь-яких пар виду (a, b) , де $a \in A, b \in B$, тобто $A \times B = \{(a, b) : a \in A, b \in B\}$

На теоретико-множинному рівні абстрактного опису системи можна отримувати досить таки загальні відомості про реальні системи, а для конкретних цілей потрібні інші моделі, які давали б можливість детальніше аналізувати різні властивості реальних систем. Для цього потрібні нижчі рівні абстрактного опису систем, які є окремими випадками опису теоретико-множинного рівня. Так, якщо зв'язки між елементами даних множин встановлюються за допомогою деяких однозначних функцій, які відображають

елементи множини в саму початкову множину, то має місце **абстрактно-алгебраїчний** рівень опису систем. У таких випадках вважають, що між елементами множини встановлені нульарні, унарні, бінарні, тернарні й інші відношення.

Якщо ж на даних множинах визначені деякі багатозначні функції, то мають місце **топологічні абстрактні** моделі, записані мовою загальної топології або її гілок, які називаються топологією алгебри, гомологічною топологією і т. п.

Вибір потрібного рівня абстрактного опису при вивченні тієї або іншої реальної системи є завжди найбільш відповідальним і найбільш важким кроком у теоретико-системних побудовах. Цей процес майже не піддається формалізації і багато в чому залежить від досвіду і знань дослідника, його професійної підготовки, цілей дослідження і т. п.

Можна показати, як від систем з топологічним рівнем опису перейти до узагальнених динамічних систем. Щоб дати строге математичне визначення поняттю **динамічна система**, її наділяють властивістю мати "входи" і "виходи", тобто визначають як структурований об'єкт, куди в певні моменти часу можна вводити речовину, енергію, інформацію, а в інші моменти — виводити їх. Динамічні системи можна зобразити і як системи, де процеси відбуваються неперервно, і як системи, в яких всі процеси протікають лише в дискретні моменти часу.

Інші абстрактні рівні опису систем пов'язані з розвитком інформаційних і програмних систем, а також систем штучного інтелекту.

Елементи системи і зв'язки між ними в різних випадках можуть мати різну природу (фізичну, інформаційну, технологічну, біологічну, соціальну), тому аналізом систем займаються представники різних галузей науки і техніки. Науковий напрям під назвою **загальна теорія систем**, який з'явився в кінці 50-х — на початку 60-х років XX століття, пов'язаний з розробкою сукупності філософських, методологічних, наукових і прикладних методів аналізу та синтезу систем довільної природи. Ця теорія є загальною, оскільки має дедуктивний характер, об'єднує інші теорії, а саме: теорії управління, самоорганізації, навчання і тому подібне, і розроблена для вивчення поведінки абстрактних систем. Основне її призначення — пояснити, яким чином з окремих елементів утворюється складна єдність цілого, нова сутність. Загальна теорія систем тісно пов'язана з формальною і є певною мірою математичною. Основна процедура теорії систем і системного аналізу –

побудова моделі системи, яка відображала б всі фактори, взаємозв'язки і реальні ситуації. Займаються цим фахівці з системного аналізу – системні аналітики.

2.3. Поняття моделі

Науковою основою моделювання як методу пізнання і дослідження різних об'єктів і процесів є **теорія схожості**, в якій головним є поняття **аналогії**, тобто схожість об'єктів за деякими ознаками. Подібні об'єкти називаються аналогами. Аналогія між об'єктами може встановлюватися за якісними і (або) кількісними ознаками.

Основним видом кількісної аналогії є **математична схожість**, коли об'єкти описуються за допомогою рівнянь і функцій. Функції і незалежні змінні називаються схожими, якщо вони співпадають з точністю до деяких констант. Окремими видами математичної схожості є **геометрична схожість**, яка встановлює схожість геометричних образів, і **часова**, така, що визначає схожість функцій часу, для яких константа часу (масштаб) показує, в яких відношеннях перебувають параметри функцій, такі як період, часова затримка і т. п.

Іншим видом кількісної аналогії є **фізична схожість**. Критерії фізичної схожості можна отримати, не маючи математичного опису об'єктів, наприклад, на основі значень фізичних параметрів, які характеризують досліджуваний процес у натурі і на моделі. За типами процесу розрізняють види схожості, для якої розроблені відповідні критерії, – гідравлічні, електричні, аеродинамічні й ін.

Вивчення переходу від властивостей реальних об'єктів до властивостей системи є найважливішим завданням теорії систем. У загальній теорії систем визнається об'єктивність існування систем. Згідно з цією теорією, якщо реально існують взаємозв'язки між об'єктами, то існують і системи, які їм відповідають. Ця теорія ґрунтується на **постулаті функціонально-структурного ізоморфізму** об'єктів і явищ природи, який формулюється таким чином.

Якщо структура однієї системи і зовнішні функції її елементів ізоморфні структурі іншої системи і зовнішнім функціям її елементів, то зовнішні властивості цих систем не розрізняються в області їх ізоморфізму².

У теорії систем цей постулат має не менше значення, ніж закони збереження матерії у фізиці або аксіоми в математиці. Разом з іншими

постулатами він є основою для логічного, доказового розгортання теорії і дає можливість пояснити єдність закономірностей природи для об'єктів, які здаються несхожими і незалежними один від одного. Ізоморфізм реальних систем є основою і логічним наслідком вищезазначеного постулату.

У теорії систем існує ще один важливий для моделювання постулат, який визначає, що описом структури і функцій деякої системи може бути інша ізоморфна відносно її система. При цьому ізоморфізм (схожість) двох систем стосується і структур систем і функцій їх елементів. Одна з таких систем є *моделлю* іншої (*оригіналу*) і навпаки. Таких ізоморфних систем може бути безліч. Виникає проблема вибору або побудови системи, яка може бути моделлю досліджуваної системи.

Теорія схожості дає можливість встановити відношення еквівалентності (відповідності, схожості) за деякими ознаками між двома системами, що розглядаються. Будь-яка з цих систем може існувати реально або бути абстрактною. Якщо система існує реально, то її можна вивчати, досліджуючи, яким чином зв'язані вхідні впливи з виходами системи. На основі результатів досліджень будується деяка *абстрактна система*. У ній відношення еквівалентності визначається тільки для тих важливих властивостей і аспектів поведінки, які в початковій та в абстрактній системах повинні бути однаковими. Г. Месарович відзначає, що, базуючись на спостереженнях і дослідженнях однієї системи, можна будувати висновки про властивості й поведінку іншої. Переважно на практиці абстрактна система є *більш простою*, ніж початкова, якщо не враховувати тих аспектів, які визначають відношення еквівалентності.

² Дві множини X, Y називаються *ізоморфними*, якщо між елементами цих множин можна встановити взаємно однозначну відповідність

Таким чином, можна перейти до визначення терміна "модель". У філософській літературі під терміном "модель" розуміють "деяку реально існуючу систему або ту, що представляється в думках, яка, заміщуючи і відображаючи в пізнавальних процесах іншу систему-оригінал, перебуває з нею у відношенні схожості, завдяки чому вивчення моделі дає можливість отримати нову інформацію про оригінал". У цьому визначенні закладений генетичний зв'язок моделювання з теорією схожості, принципом аналогії. Таким чином, моделлю можна називати систему, яку використовують для дослідження іншої системи.

Термін "модель" походить від латинського слова "modulus", тобто зразок, пристрій, еталон. У широкому значенні – це будь-який аналог (уявний, умовний: зображення, опис, схема, креслення і т. п.) певного об'єкта, процесу, явища ("оригіналу" даної моделі), який використовується як його "замінник". Цей термін можна застосовувати також для позначення системи постулатів, даних і доказів, формального опису деякого явища або стану речей. Словник Вебстера визначає модель як "спрощений опис складного явища або процесу".

Підсумовуючи вищесказане, надалі використовуватимемо таке стисле визначення. **Модель** — це реально існуюча або абстрактна система, яка, замінюючи і відображаючи в пізнавальних процесах іншу систему — оригінал, перебуває з нею у відношенні схожості.

У сучасній теорії управління використовуються *моделі двох основних типів*. Для технологічних об'єктів цей поділ відповідає "*феноменологічним*" і "*дедуктивним*" моделям. Під феноменологічними моделями розуміють переважно емпірично відновлені залежності вихідних даних від вхідних, як правило, з невеликою кількістю входів і виходів. Дедуктивне моделювання передбачає з'ясування і опис основних фізичних закономірностей функціонування всіх компонентів досліджуваного процесу і механізмів їх взаємодії. За допомогою дедуктивних моделей описується процес у цілому, а не окремі його режими.

Перший тип моделей — *моделі даних*, які не мають потреби, не використовують і не відображають яких-небудь гіпотез про фізичні процеси або системи, з яких ці дані отримані. До моделей даних належать всі моделі математичної статистики. Останнім часом ця сфера моделювання ув'язується з експериментально-статистичними методами і системами, що істотно розширює методологічну базу для прийняття рішень під час розв'язання задач аналізу даних і управління.

Другий тип моделей – **системні моделі**, які будуються в основному на базі фізичних законів і гіпотез про те, як система структурована і, можливо, як вона функціонує. Використання системних моделей передбачає можливість працювати в технологіях віртуального моделювання — на різноманітних тренажерах і в системах реального часу (операторські, інженерні, біомедичні інтерфейси, різноманітні системи діагностики і тестування та ін.). Саме системні моделі є ядром моделювання на сучасному етапі.

Таким чином, модель є абстракцією системи і відображає деякі її властивості. Цілі моделювання формулює дослідник. Значення цілей моделювання неможливо переоцінити. Тільки завдяки ним можна визначити сукупність властивостей модельованої системи, які повинна мати і модель, тобто від мети моделювання залежить потрібний ступінь деталізації моделі.

2.4. Співвідношення між моделлю та системою

Ураховуючи вищеописане, модель – це абстракція; вона відображає лише частину властивостей системи, і мета моделювання – визначення рівня абстрактного опису системи, тобто рівня детальності її подання.

Модель і система перебувають у деяких співвідношеннях, від яких залежить ступінь відповідності між ними. На міру відповідності між системою і моделлю вказують поняття **ізоморфізму** і **гомоморфізму**. Система і модель є ізоморфними, якщо існує взаємно однозначна відповідність між ними, завдяки якій можна перетворити одне подання на інше. Строго доведений ізоморфізм для систем різної природи дає можливість переносити знання з однієї області в іншу. За допомогою теорії ізоморфізму можна не тільки створювати моделі систем і процесів, але й організовувати процес моделювання.

Однак існують і менш тісні зв'язки між системою та моделлю. Це так звані гомоморфні зв'язки, які визначають однозначну відповідність лише в один бік — від моделі до системи. Система і модель є ізоморфними тільки у разі **спрощення** системи, тобто скорочення множини її властивостей (атрибутів) і характеристик поведінки, які впливають на простір станів системи.

Станом динамічної системи (моделі) в деякий момент часу t називається множина значень всіх її параметрів (змінних), вимірюваних одночасно у цей момент. При зміні значення хоча б одного параметра системи в наступний момент часу говорять, що стан системи змінився. Стан системи зручно розглядати як точку в багатовимірному просторі. Множина всіх можливих станів системи називається **простором станів системи**.

Зазвичай модель є більш простою, ніж система. На рис. 2.1 схематично

зображена відмінність ізоморфної і гомоморфної залежностей між системою і моделлю для просторових станів системи Z_S і моделі Z_m . Множина станів моделі Z_m визначають, враховуючи мету моделювання і вибраний рівень абстрактного опису.

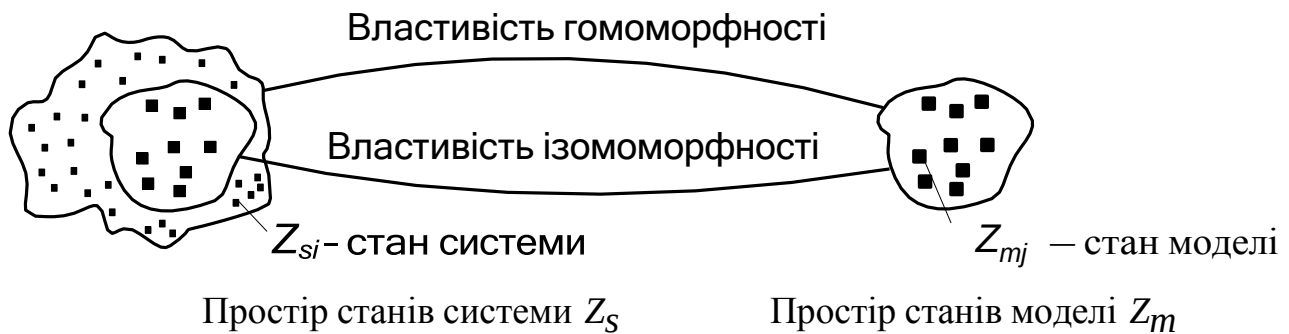


Рис. 2.1. Схематичне зображення співвідношення між системою і моделлю

Отже, *аналогія, абстракція і спрощення* – це основні поняття, які використовуються при моделюванні систем. Розглянемо відношення між системою і моделлю, враховуючи, що ці відношення відповідають цілям моделювання й обмеженням досліджуваної системи. При використанні поняття множини можливих станів системи Z_S і моделі Z_m розрізняють такі типи відношень.

1. **Детерміновані відношення**, коли стан системи однозначно визначає стан моделі і навпаки:

$$P(Z_m = Z_{mj} | Z_S = Z_{Si}) = P(Z_S = Z_{Si} | Z_m = Z_{mj}) = 0 \vee 1,$$

де P – ймовірність; Z_{Si}, Z_{mj} – конкретні стани відповідно системи і моделі для скінченної множини значень i, j .

У цьому випадку розглядається детермінована дискретна модель зі скінченною множиною можливих станів. Прикладом реалізації такої моделі може бути скінченний автомат або мережа Петрі.

2. Імовірнісні відношення зі скінченною множиною станів. У цьому випадку стан системи однозначно визначає стан моделі, але стан моделі визначає стан системи лише з деякою ймовірністю. Вказані відношення для конкретних станів Z_{si}, Z_{mj} можна записати у такому вигляді:

$$P(Z_m = Z_{mj} \mid Z_s = Z_{si}) = 0 \vee 1,$$

$$P(Z_s = Z_{si} \mid Z_m = Z_{mj}) \leq 1,$$

тобто розглядається дискретна стохастична модель зі скінченною множиною можливих станів. Прикладом реалізації подібної моделі може бути імовірнісний автомат.

3. Імовірнісні відношення з нескінченною множиною станів, коли стани системи і моделі визначають стани один одного лише з деякою ймовірністю:

$$P(Z_m = Z_{mj} \mid Z_s = Z_{si}) \leq 1,$$

$$P(Z_s = Z_{si} \mid Z_m = Z_{mj}) \leq 1.$$

Це так звані стохастичні моделі, до яких, наприклад, належать марківські моделі (ланцюги Маркова) і моделі систем масового обслуговування.

2.5. Види моделей та їх класифікація за різними критеріями

Для того щоб визначити види моделей, перш за все, потрібно вказати ознаки класифікації.

Якщо враховувати, що моделювання – це метод пізнання дійсності, то основною ознакою класифікації можна назвати *спосіб подання* моделі. За цією ознакою розрізняють *абстрактні і реальні* моделі (рис. 2.2). Під час моделювання можливі різні абстрактні *конструкції*,

проте, основною є віртуальна (**уявна**) модель, що відображає ідеальне уявлення людини про навколишній світ, який фіксується у свідомості через думки і образи. Віртуальна модель може представлятися у вигляді наглядної **моделі** за допомогою графічних образів і зображень.

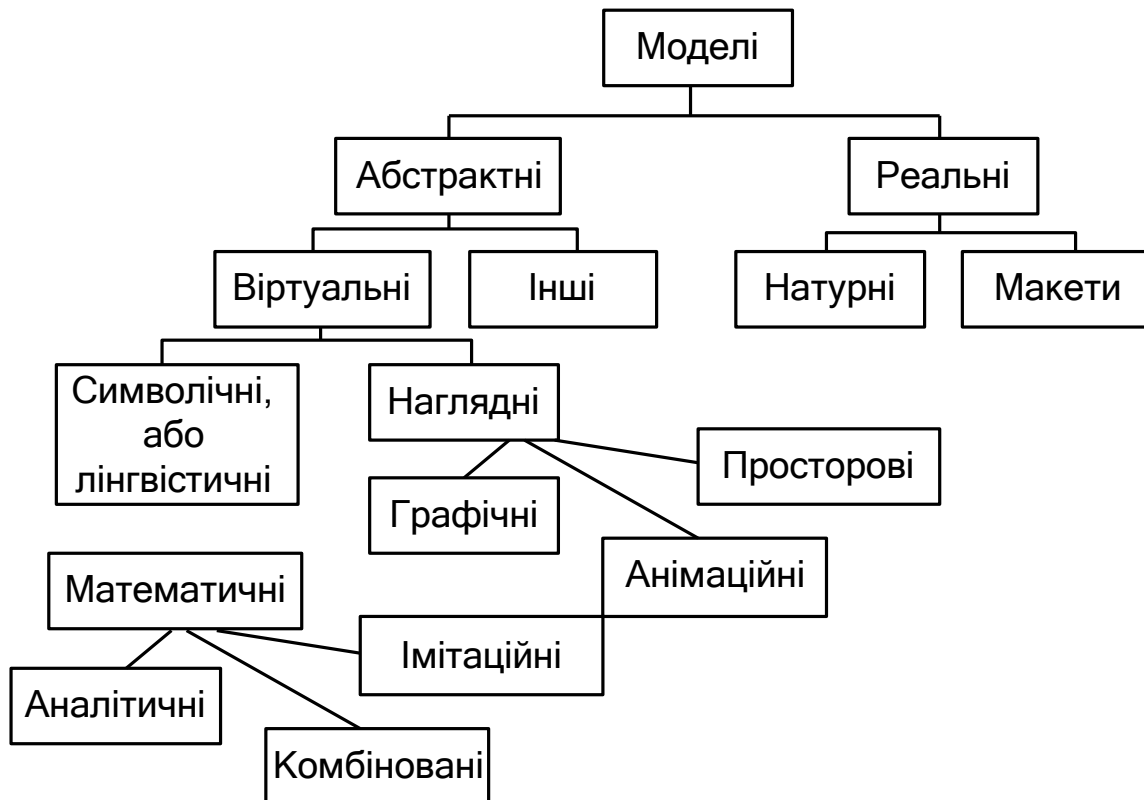


Рис. 2.2. Основні типи моделей

Наглядні моделі залежно від способу реалізації можна поділити на дво- або тривимірні графічні, анімаційні і просторові. Графічні й анімаційні моделі широко використовуються для відображення процесів, які відбуваються в модельованій системі. Графічні моделі застосовуються в системах автоматизованого проектування (computer-aided design, СА). Для відтворення тривимірних моделей за допомогою комп'ютера існує багато графічних пакетів, найбільш поширені з яких: Corel DRAW, 3D Studio Max і Maya. Графічні моделі є базою всіх комп'ютерних ігор, а також застосовуються під час імітаційного моделювання для анімації.

Щоб побудувати модель у **формальному вигляді**, створюють **символічну**,

або *лінгвістичну*, модель, яка відповідала б високому рівню абстрактного опису, як це було вказано вище. На базі її отримують інші рівні опису.

Основним видом абстрактної моделі є *математична модель*. Її вид залежить як від природи реального об'єкта, так і від задач дослідження об'єкта та необхідної достовірності і точності розв'язку цієї задачі. Будь-яка математична модель, як і всяка інша, описує реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення до дійсності. За видом математичні моделі для дослідження характеристик процесу функціонування систем можна розділити на *аналітичні, імітаційні і комбіновані*.

Для *аналітичної моделі* характерно те, що процеси функціонування елементів системи записуються у вигляді деяких функціональних співвідношень (алгебри, інтегрально-диференціальних, кінцево-різницевих і т. п.) або логічних умов. Аналітична модель може бути досліджена такими методами:

а) аналітичним, коли прагнуть отримати в загальному вигляді явні залежності для шуканих характеристик;

б) чисельним, коли, не вміючи розв'язувати рівняння в загальному вигляді, прагнуть отримати числові результати при конкретних початкових даних;

в) якісним, коли, не маючи розв'язку в явному вигляді, можна знайти деякі властивості розв'язку (наприклад, оцінити сталість розв'язку).

Якнайповніше дослідження процесу функціонування системи можна провести, якщо відомі явні залежності, що пов'язують шукані характеристики з початковими умовами, параметрами і змінними системи S . Проте такі залежності вдається отримати тільки для порівняно простих систем. При ускладненні систем дослідження їх аналітичним методом нашоюхується на значні труднощі, які часто бувають нездоланими. Тому, бажаючи використовувати аналітичний метод, в цьому випадку йдуть на суттєве спрощення початкової моделі, аби мати можливість вивчити хоча б загальні властивості системи. Таке дослідження на спрощеній моделі аналітичним методом допомагає отримати орієнтовні результати для визначення точніших оцінок іншими методами. Чисельний метод дозволяє досліджувати порівняно з аналітичним методом ширший клас систем, але при цьому отримані розв'язки носять приватний характер. Чисельний метод особливо ефективний при використанні комп'ютерів.

В окремих випадках дослідника системи можуть задовольнити і ті

висновки, які можна зробити при використанні якісного методу аналізу математичної моделі. Такі якісні методи широко використовуються, наприклад, в теорії автоматичного управління для оцінки ефективності різних варіантів систем управління.

В *імітаційній моделі* відтворюється процес функціонування системи S у часі, причому імітуються елементарні явища, що складають процес, із збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі, що дозволяє за початковими даними отримати зведення про стани процесу в певні моменти часу, які дають можливість оцінити характеристики системи S .

Основною перевагою використання імітаційних моделей порівняно з аналітичними моделями є можливість розв'язання складніших задач. Імітаційні моделі дозволяють досить просто враховувати такі фактори, як наявність дискретних і безперервних елементів, нелінійні характеристики елементів системи, численні випадкові дії тощо, які часто створюють труднощі при аналітичних дослідженнях. Нині імітаційне моделювання — найбільш ефективний метод дослідження великих систем, а часто і єдиний практично доступний метод отримання інформації про поведінку системи, особливо на етапі її проектування.

Коли результати, отримані при відтворенні на імітаційній моделі процесу функціонування системи S , є реалізаціями випадкових величин і функцій, тоді для знаходження характеристик процесу потрібне його багаторазове відтворення з подальшою статистичною обробкою інформації і доцільно як метод машинної реалізації імітаційної моделі використовувати метод статистичного моделювання. Спочатку був розроблений метод статистичних випробувань, що є чисельним методом, який застосовувався для моделювання випадкових величин і функцій, імовірнісні характеристики яких співпадали з розв'язками аналітичних задач (така процедура отримала назву *метода Монте-Карло*). Потім цей прийом почали застосовувати і для машинної імітації з метою дослідження характеристик процесів функціонування систем, схильних до випадкових дій, тобто з'явився метод *статистичного моделювання*.

Таким чином, методом статистичного моделювання надалі називатимемо метод машинної реалізації імітаційної моделі, а методом статистичних випробувань (Монте-Карло) називатимемо чисельний метод розв'язання аналітичних задач.

Метод імітаційного моделювання дозволяє розв'язувати задачі аналізу великих систем S , включаючи задачі оцінки: варіантів структури системи,

ефективності різних алгоритмів управління системою, впливу зміни різних параметрів системи. Імітаційне моделювання може бути покладене також в основу структурного, алгоритмічного і параметричного синтезу великих систем, коли потрібно створити систему із заданими характеристиками при певних обмеженнях, яка є оптимальною за деякими критеріями оцінки ефективності.

Використання **комбінованих** (аналітико-імітаційних) **моделей** при аналізі і синтезі систем дозволяє об'єднати переваги аналітичних й імітаційних моделей. При побудові комбінованих моделей проводиться попередня декомпозиція процесу функціонування об'єкта на складові підпроцеси, і для тих з них, де це можливо, використовуються аналітичні моделі, а для решти підпроцесів будуються імітаційні моделі. Такий комбінований підхід дозволяє охопити якісно нові класи систем, які не можуть бути досліджені з використанням тільки аналітичного й імітаційного моделювання окремо.

На відміну від абстрактних, **реальні** моделі існують у природі, і з ними можна експериментувати. Реальні моделі — це такі моделі, в яких хоча б один компонент є фізичною копією реального об'єкта. Залежно від того, в якому співвідношенні перебувають властивості системи і моделі, реальні моделі можна поділити на натурні і макетні.

Натурні (фізичні) моделі — це існуючі системи (або їх частини), на яких ведуться дослідження. Натурні моделі повністю адекватні реальній системі, що дає можливість отримувати високу точність і достовірність результатів моделювання. Істотні недоліки натурних моделей — це неможливість моделювання критичних й аварійних режимів їх роботи і висока вартість.

Макетні моделі — це реально існуючі моделі, що відтворюють модельовану систему в певному масштабі. Іноді такі моделі називаються **масштабними**. Параметри моделі і системи відрізняються між собою. Числове значення цієї відмінності називається масштабом моделювання, або коефіцієнтом схожості. Ці моделі розглядаються в рамках теорії схожості, яка в окремих випадках передбачає геометричну схожість оригінала і моделі для відповідних масштабів параметрів. Прості макетні моделі – це пропорційно зменшені копії існуючих систем, які відтворюють основні властивості системи або об'єкта залежно від мети моделювання. Макетні моделі широко використовуються під час вивчення фізичних та аеродинамічних процесів, гідротехнічних споруд і багатьох інших технічних систем.

Залежно від можливості змінювати в часі свої властивості моделі поділяються на **статичні** і **динамічні**. Статичні моделі, на відміну від динамічних, не змінюють своїх властивостей в часі. Динамічні моделі, як правило, є імітаційними.

Залежно від того, яким чином відтворюються в часі стани моделі, розрізняють **дискретні**, **неперервні** і **дискретно-неперервні** (комбіновані) моделі.

Відповідно до співвідношень між станами системи і моделі розрізняють **детерміновані** і **стохастичні** моделі. Останні, на відміну від детермінованих моделей, враховують імовірнісні явища і процеси, що відбуваються в системі.

Поняття складної системи

Теорія відносності, яка вивчає універсальні фізичні закономірності, що відносяться до всього Всесвіту, і квантова механіка, яка вивчає закони мікросвіту, нелегкі для розуміння, і, тим не менше, вони мають справу з системами, які з погляду сучасного природознавства вважаються простими. **Простими** в тому сенсі, що в них входить невелика кількість змінних, і тому взаємовідношення між ними піддається математичній обробці і виведенню універсальних законів. Однак, крім простих, існують **складні системи**, які складаються з великого числа змінних і, отже, великої кількості різних зв'язків між ними. Чим воно більше, тим важче піддається предмет дослідження досягненню кінцевого результату – виведенню закономірностей функціонування даного об'єкта. Труднощі вивчення даних систем пов'язані і з тією обставиною, що чим складніше система, тим більше у неї так званих **емерджентних** властивостей, тобто властивостей, яких немає у її частин і які є наслідком ефекту цілісності системи. Такі складні системи вивчає, наприклад, метеорологія – наука про кліматичні процеси. Метеорологія вивчає саме складні системи, оскільки процеси утворення погоди набагато менш відомі, ніж гравітаційні процеси, що, на перший погляд, здається парадоксом. Дійсно, чому ми достатньо точно можемо визначити, в якій точці перебуватиме Земля або яке-небудь інше небесне тіло через мільйони років, але не можемо точно передбачити погоду на завтра? Тому що кліматичні процеси є набагато складнішими системами, що складаються з величезної кількості змінних і взаємодій між ними.

2.6. Вимоги до моделей

У загальному випадку під час побудови моделі потрібно враховувати такі вимоги:

- **незалежність результатів** розв'язання задач від конкретної фізичної інтерпретації елементів моделі;
- **змістовність**, тобто здатність моделі відображати важливі риси і властивості реального процесу, який вивчається і моделюється;
- **дедуктивність**, тобто можливість конструктивного використання моделі для отримання результату (управління, прогнозування);
- **індуктивність** — вивчення причин і наслідків, від окремого до загального, з метою накопичення необхідних знань.

Оскільки модель створюється для вирішення конкретних завдань, розробник моделі має бути впевнений, що не отримає абсурдних результатів, а всі отримані результати відображатимуть необхідні для дослідника характеристики і властивості модельованої системи. Модель повинна дати можливість знайти відповіді на певні питання, наприклад: "що буде, якщо ...", оскільки вони є найбільш доцільними під час глибокого вивчення проблеми. Не слід забувати, що системні аналітики використовують модель для прийняття рішень і пошуку якнайкращих способів створення модельованої системи або її модернізації. Завжди потрібно пам'ятати, що користувачем інформації, отриманої за допомогою моделі, є замовник. Недоцільно розробляти модель, якщо її не можна буде використовувати. Більш того, робота з моделлю повинна бути автоматизована для замовника до такої міри, щоб він міг працювати з нею в межах своєї предметної області. Таким чином, між моделлю і користувачем має бути реалізований розвинений інтерфейс, який зазвичай створюється за допомогою системи меню, налаштованої на використання моделі в певній області.

Ступінь деталізації моделі потрібно вибирати з урахуванням цілей моделювання, можливості отримання необхідних вхідних даних для моделі і враховуючи наявні ресурси для її створення. Відсутність кваліфікованих фахівців може звести роботи зі створення моделі нанівець. З іншого боку, чим детальніше розроблена модель, тим вона стійкіша до вхідних впливів, які не були передбачені під час проектування, і на більшу кількість питань може дати правильні відповіді.

Висновки

1. Система — це цілісний комплекс взаємопов'язаних елементів, який має певну структуру і взаємодіє із зовнішнім середовищем.
2. Модель — це реально існуюча або уявна система, яка, заміщаючи і відображаючи в пізнавальних процесах іншу систему-оригінал, знаходиться з нею у відношенні подібності.
3. Моделювання – це спосіб дослідження будь-яких явищ, процесів або об'єктів шляхом побудови та аналізу їх моделей.

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке система? Як впливає на систему зовнішнє середовище? Чому існує багато визначень системи?
2. Назвіть кілька статичних і динамічних об'єктів, дій, процесів, атрибутів, подій та змінних станів для таких систем:
 - а) станція технічного обслуговування автомобілів; б) магазин самообслуговування;
 - с) станція швидкої допомоги;
 - д) кафе;
 - е) таксомоторний парк.
3. Яким чином динамічна поведінка системи пов'язана з поняттям стану системи?
4. Що розуміють під абстрактною системою?
5. Що розуміють під моделлю? У яких відношеннях перебувають об'єкт моделювання та модель? Чи може система бути моделлю?
6. Виконайте критичний аналіз різних видів класифікацій моделей. Чому неможлива єдина класифікація? Запропонуйте іншу класифікацію моделей.