

Лекція №1

Розділ 1. Основні поняття. Технології побудови моделей.

Вступ.

З процесом моделювання та різними моделями людина починає стикатися з раннього дитинства. Так, ще не навчившись впевнено ходити, малюк починає грати з кубиками, будуючи з них (першою мірою — за допомогою старших) різні конструкції. Його оточують різні іграшки: плюшеві, гумові, металеві, що відрізняються за розмірами, формою, кольором, призначенням. При цьому більшість іграшок повторюють (моделюють) окремі властивості та форму реально існуючих предметів та об'єктів. У цьому сенсі такі іграшки можна як моделей відповідних об'єктів.

У школі практично все навчання побудовано на використанні моделей у тій чи іншій формі. Дійсно, для ознайомлення з основними конструкціями та правилами рідної мови використовуються різні структурні схеми та таблиці, які можна вважати моделями, що відображають ті чи інші властивості мови. Процес написання твору слід розглядати як моделювання певної події чи явища засобами рідної мови. На уроках біології, фізики, хімії та анатомії до плакатів і схем (тобто моделям) додаються макети (теж моделі) реальних об'єктів, що вивчаються. На уроках малювання чи креслення на аркуші паперу чи ватману створюються моделі тих чи інших об'єктів, виражені образотворчою мовою чи формалізованою мовою креслення.

Навіть таку область знання, що важко формалізується, як історія, також можна розглядати як безперервно еволюціонуючу сукупність моделей минулого того чи іншого народу, держави і т.д. Встановлюючи закономірності в настанні тих чи інших історичних подій (революцій, воєн, прискорень чи застоїв історичного розвитку), можна не лише з'ясувати причини, що призвели до цих подій, а й прогнозувати і навіть керувати їхньою появою та розвитком у майбутньому.

Протягом усього свого життя людина щодня стикається з моделями і сама створює нові.

Так, картину, написану художником, вважатимуться моделлю реальних об'єктів, записаною мовою живопису. Такими ж моделями можна вважати художній твір та скульптуру. Навіть життєвий досвід людини, її уявлення про світ є прикладом моделі. Причому поведінка людини визначається моделлю, що сформувалася в її свідомості. Психолог чи вчитель, змінюючи параметри такої внутрішньої моделі, можуть окремих випадках істотно змінювати поведінку людини. Без перебільшення можна стверджувати, що у своєму усвідомленому житті людина має справу виключно з моделями тих чи інших реальних об'єктів, процесів, явищ. У цьому той самий об'єкт сприймається різними людьми по-різному, іноді — з точністю "до навпаки". Як говориться у відомому прислів'ї - "на смак і колір ...". Це сприйняття, уявний

образ об'єкта також є різновидом моделі останнього (так званою когнітивною моделлю), і істотно залежить від безлічі факторів: якості та обсягу знань, особливостей мислення, емоційного стану конкретної людини "тут і зараз" і від багатьох інших причин, часто не доступних раціональному усвідомленню. Особливо велика роль моделей та моделювання в сучасній науці та техніці.

Усі існуючі нині прийоми моделювання можна (умовно) поділити на матеріальні та ідеальні.

Матеріальне моделювання - Це моделювання, при якому дослідження об'єкта виконується з використанням його матеріального аналога (від грец. analogia - відповідність, пропорційність), що відтворює основні фізичні, геометричні, динамічні та функціональні характеристики даного об'єкта. До таких моделей, наприклад, можна віднести використання макетів в архітектурі, моделей та експериментальних зразків при створенні різних транспортних засобів.

Ідеальне моделювання відрізняється від матеріального тим, що воно засноване не на матеріальній аналогії об'єкта та моделі, а на аналогії ідеальної, мислимої та завжди носить теоретичний характер.

Чи можна обійтись у техніці без застосування тих чи інших видів моделей? Очевидна відповідь – ні! Звичайно, можна побудувати новий літак "з голови" (без попередніх розрахунків, креслень, експериментальних зразків, тобто використовуючи лише єдину "ідеальну" модель, що існує в "голові" конструктора). Однак навряд чи це буде досить ефективна та надійна конструкція. Єдиною її перевагою можна вважати її унікальність. Адже навіть автор не зможе повторно виготовити такий самий літак, т.к. в результаті виготовлення першого екземпляра буде отримано деякий досвід, який обов'язково змінить ідеальну модель в голові самого конструктора.

Чим складнішим і надійнішим має бути технічний виріб, тим більше видів моделей необхідно застосувати на етапі його проектування.

Як правило, складні вироби створюються цілими колективами розробників. Вся сукупність застосовуваних ними різноманітних моделей дозволяє сформувавши загальну для всього колективу "ідеальну" модель виробу, що розробляється. Реальне технічне виріб можна як "матеріальну" модель (аналог) створеної авторами "ідеальної" моделі.

Предмет вивчення та завдання дисципліни.

Будь-які енергетичні установки, у тому числі і нетрадиційні, є складною технічною системою, яку надалі ми називатимемо енергосистемою.

Оскільки енергосистема містить безліч окремих елементів, з'єднаних певним чином, то і модель системи повинна відтворювати всі відносини і зв'язки, що підлягають дослідженню, всередині об'єкта, що стосуються взаємовідносин всіх елементів або виділених груп елементів, що розглядаються в цьому випадку як підсистеми. При моделюванні енергосистем розрізняють випадки, коли подібність встановлюється для всіх елементів, що впливають на функції, що вивчаються, що виявляються як у часі, так і в просторі (повна подоба), і випадки, коли встановлюється подоба тільки частини процесів або функцій системи, що вивчаються (неповна подоба), наприклад, коли вивчається зміна параметрів процесу лише у часі без розгляду відповідних змін у просторі. Повна подібність і відповідно повне моделювання енергосистем реалізується переважно при вивченні систем або окремих елементів, дія яких суттєво пов'язана з поширенням електромагнітної енергії у просторі (конструювання та вивчення роботи таких елементів системи, як електричні машини, трансформатори, хвилеводи, протяжні лінії електропередачі тощо). Неповне моделювання зазвичай реалізується щодо режимів енергетичних систем.

При фізичному моделюванні вивчення конкретної енергосистеми замінюється вивченням подібної енергосистеми іншого розміру (потужності, напруги, частоти струму, протяжності ліній електропередачі, габаритів), але має ту ж фізичну природу найважливіших (в умовах даного завдання) елементів моделі. Широко поширені фізичні моделі енергосистем, що містять електричні машини, які зображують у зменшеному за потужністю (до $1/10000 - 1/20000$) та напрузі ($1/1000$) масштабі реальну енергосистему з її регулюючими, захисними та іншими пристроями. Фізичні моделі застосовуються для досліджень електроенергетичних систем загалом, ліній електропередачі (зазвичай на підвищеній частоті), пристроїв регулювання та захисту тощо.

Фізичне моделювання енергосистем застосовується переважно для вивчення та перевірки основних теоретичних положень, уточнення схем заміщення та розрахункових формул, перевірки дії апаратів, установок, нових схем захисту та способів передачі енергії, а також для визначення загальних характеристик електромагнітних, електромеханічних та хвильових процесів у системах, не мають точного математичного опису або що знаходяться у незвичайних умовах.

Прикладом аналогового моделювання енергосистем можуть бути розрахункові столи постійного чи змінного струму, інакше звані розрахунковими моделями, у яких набір активних і реактивних опорів зображує електричну мережу, а джерела живлення — генератори (станції),

які працюють у енергосистемі, — замінюються регульованими трансформаторами () або джерелами постійного струму, наприклад, акумуляторами (модель постійного струму). Дійсні фізичні процеси, що відбуваються в досліджуваній системі, на такій моделі не відтворюються. Опір і ОДС, складові відповідно до прийнятих розрахункових рівнянь схему заміщення системи, що вивчається, можуть змінюватися (вручну або автоматично), відображаючи тим самим реальні зміни, що відбуваються в системі, що вивчається. Значення електричних напруг, сил струмів і потужностей, які вимірюються в такій моделі (схемі заміщення) з певними припущеннями, характеризують реальний процес в енергосистемі.

При моделюванні енергосистем із використанням *аналогових обчислювальних машин* (наприклад, МН-7, МН-14, МПТ-10 тощо) також відтворюються деякі процеси, що мають природу, відмінну від природи процесів в енергосистемі, але описуються формально точно такими ж, як для енергосистеми, диференціальними рівняннями.

Різновидом аналогових моделей є аналого-фізичної моделі та цифроаналогові або гібридні моделі, що поєднують в одній установці аналогову та фізичну моделі, аналогову модель та елементи ЕОМ або спеціалізовану ЕОМ. Існують спеціалізовані аналогові моделі, які можуть працювати як у дійсному, так і зміненому масштабі часу та застосовуватися при швидкому прогнозуванні процесів, суттєвому для керування енергосистемою.

Аналогове моделювання застосовується для розрахунків за таких схемах заміщення, котрим немає потреби проводити перевірку їх фізичної адекватності реальної системі, але слід досліджувати вплив зміни окремих параметрів елементів і початкових умов процесів у значному діапазоні.

Математичне моделювання енергосистем практично реалізується упорядкуванням пристосованої для розв'язання на ЕОМ системи рівнянь, представлених у вигляді алгоритмів та програм, за допомогою яких на ЕОМ отримують чисельні характеристики процесів (у вигляді графіка або таблиці), що відбуваються в енергосистемі, що вивчається. Математичне моделювання енергосистем широко застосовується в проектних та експлуатаційних розрахунках, що оперують із заданими параметрами, що змінюються щодо конкуруючих варіантів, що особливо важливо при техніко-економічному аналізі, оптимізації, розподілі струмів, потужностей і напруг у складних енергосистемах.

Визначення моделі

Поняття моделі та моделювання найбільш поширені у сфері навчання, наукових дослідженнях, під час виконання проектно-конструкторських робіт, у серійному технічному виробництві. У кожній із цих областей моделювання має свої особливості. Далі в цій книзі моделювання розглядатиметься головним чином стосовно наукових досліджень. Найчастіше термін "модель" використовують для позначення:

- пристрої, що відтворюють будову або дію будь-якого іншого пристрою (зменшене, збільшене або в натуральну величину);
- аналога (креслення, графіка, плану, схеми, описи, ...) будь-якого явища, процесу чи предмета.

До недоліків терміна "модель" слід зарахувати його багатозначність. У словниках можна знайти до восьми різних значень даного терміна, з яких у науковій літературі найбільш поширені два:

- модель як аналог реального об'єкта;
- модель як зразок майбутнього виробу

Наукове пізнання зосереджено на вивченні предметів, явищ і процесів, що існують поза нашою свідомістю і називають об'єктами дослідження (від латів. *objectum* - предмет).

Важливу роль під час проведення досліджень грають гіпотези (від грецьк. *hypothesis* — основа, припущення), тобто. певні передбачення, ймовірні судження про причинно-наслідкові зв'язки явищ, засновані на деякій кількості досвідчених даних, спостережень, припущень. Формулювання та перевірка правильності гіпотез ґрунтується, як правило, на аналогіях.

Аналогія – це уявлення про якусь приватну подібність двох об'єктів, причому така подібність може бути як суттєвою, так і несуттєвою. Істотність подібності чи відмінності двох об'єктів умовна і від рівня абстрагування (від латів. *abstrahere* — відволікати), визначається кінцевої метою дослідження. В даному випадку рівень абстрагування визначається набором параметрів об'єкта дослідження, що враховуються. Наприклад, щодо механічних властивостей як об'єктів дослідження можуть бути виділені матеріали з дерева, металу, пластмаси і т.д. У свою чергу матеріали з дерева можна підрозділити за видами деревини на листяні і хвойні, листяні - на "березу", "тополя", "ясен" і т.д. У даному прикладі ступінь абстрагування знижується при додаванні параметрів, що враховуються. Слід зауважити, що рівень абстрагування даного об'єкта завжди визначається стосовно інших об'єктів.

Гіпотези та аналогії, які певною мірою відображають реальний, об'єктивно існуючий світ, повинні мати наочність або зводитися до зручних для дослідження логічних схем. У науці моделями називаються логічні схеми, що спрощують міркування та логічні побудови або

дозволяють проводити експерименти, що уточнюють розуміння природи явищ. Інакше кажучи, модель – це об'єкт-замінник об'єкта-оригіналу, який би вивчення деяких цікавлять дослідника властивостей оригіналу.

Під моделлю (від лат. *modulus* - міра, зразок, норма) розуміють такий матеріальний або подумки об'єкт, який у процесі пізнання (вивчення) заміщає об'єкт-оригінал, зберігаючи деякі важливі для даного дослідження типові його риси. Процес побудови та використання моделі називається моделюванням.

Подане визначення є досить загальним і може трактуватись по-різному. Зокрема, будь-яке знання можна як деяку ідеальну модель природного об'єкта чи явища. У свою чергу, будь-який штучний (тобто створений людиною) об'єкт чи процес є матеріальною моделлю, побудованою на основі відповідних знань (ідеальних моделей). У цьому сенсі можна говорити про три реальності або три сфери (що близько до думок, висловлених В. І. Вернадським ще в 1922), в яких живе людина.

Першою реальністю є жива та нежива природа, закони розвитку якої не залежать від людини. Тому природні об'єкти та явища не можна розглядати по відношенню до людини як моделі. Однак пізнання та використання людиною природних об'єктів можливе лише через їх моделі, які в результаті вивчення самих об'єктів також змінюються.

Об'єкти природи знаходять своє відображення у другій реальності або ноосфері, що включає знання, накопичені всім людством і мало залежать від конкретної людини. Ця реальність, що складається з ідеальних моделей, залежить від еволюції людства і змінюється у процесі пізнання, поповнюючись новими та змінюючи старі моделі. Можна сміливо сказати, що процес пізнання у сфері знань є безперервне вдосконалення існуючих і побудова нових моделей досліджуваних об'єктів. Цей ряд моделей (з оптимістичної точки зору) нескінченний.

Нарешті, третя реальність чи техносфера можна як відображення другої реальності, включає всі матеріальні моделі, створені людиною. До складових техносфери слід віднести також штучне розведення тварин та рослин, їх селекція та (останнім часом) їх клонування. Хоча самі живі організми є представниками живої природи і моделями не є, але процес їх появи управляється людиною на підставі деяких модельних уявлень про дані об'єкти. займається знайомством із вже створеними раніше моделями та створенням на їх основі нових ідеальних чи матеріальних моделей. Тому поняття "людина моделюючий" можна вважати тотожним поняття "людина розумна".

Властивості моделей

Нині немає передумов виділення “найпростіших” і “неподільних” цеглинок світобудови. Тому можна стверджувати, що будь-який об'єкт дослідження є нескінченно складним та характеризується нескінченним числом параметрів. При побудові моделі дослідник завжди

виходить із цілей свого дослідження, враховує лише найбільш суттєві для досягнення поставленої мети фактори. Тому будь-яка модель нетотожна об'єкту-оригіналу і, отже, неповна, оскільки за її побудові дослідник виділив лише найістотніші з погляду чинники. Відкинуті чинники, незважаючи на своє відносно малий вплив на поведінку об'єкта в порівнянні з факторами, обраними як істотні, все ж таки в сукупності можуть призводити до значних відмінностей між об'єктом і його моделлю. "Повна" модель, очевидно, буде повністю тотожною оригіналу. Цю думку добре висловили Артуро Розенблют і Норберт Вінер, помітивши, що "найкращою моделлю kota є інший кіт, а ще краще - той самий кіт". З іншого боку, як зазначив М.Вартофський, при моделюванні має "виключатися якесь би самовіднесення, ніщо не може бути моделлю самого себе".

Якщо результати моделювання задовольняють дослідника і можуть бути основою для прогнозування поведінки або властивостей об'єкта, що досліджується, то кажуть, що модель адекватна (від лат. *adaequatus* — прирівняний) об'єкту. При цьому адекватність моделі залежить від цілей моделювання та прийнятих критеріїв. Враховуючи закладену при створенні неповноту моделі, можна стверджувати, що ідеально адекватна модель неможлива.

Як одну з характеристик моделі може бути простота моделі (або складність). Очевидно, що з двох моделей, що дозволяють досягти бажаної мети і отримати необхідні результати із заданою точністю, перевага має бути більш простою. При цьому адекватність та простота моделі далеко не завжди є суперечливими вимогами. Враховуючи нескінченну складність будь-якого об'єкта дослідження, можна припустити існування нескінченної послідовності його моделей, що різняться за рівнем повноти, адекватності та простоти.

Як ще одну властивість моделі можна розглядати потенційність моделі (від латів. *potentia* – міць, сила) або передбачуваність для отримання нових знань про об'єкт, що досліджується. Ця властивість моделі підкреслюється у визначенні Н.Н. Моїсеєва: "Під моделлю ми розумітимемо спрощене, якщо завгодно, упаковане знання, яке несе цілком певну, обмежену інформацію про предмет (явлення), що відображає ті чи інші його властивості. Модель можна як спеціальну форму кодування інформації. На відміну від звичайного кодування, коли відома вся вихідна інформація, і ми лише перекладаємо її іншою мовою, модель, якою б вона не використовувала, кодує і ту інформацію, яку люди ще не знали. Можна сказати, що модель містить у собі потенційне знання, яке людина, досліджуючи її, може придбати, зробити наочною та використовувати у своїх практичних життєвих потребах". З цього приводу висловлюються Т.Тоффоли і М.Марголус: "У науці мало користі від моделей, які рабсько підкоряються нашим бажанням. Ми хочемо мати моделі, які насмілюються; моделі, які мають власний розум. Ми хочемо отримувати від моделей більше, ніж у них вклали". Саме властивість потенційності (іноді зване багатство моделі) дозволяє моделі виступати як самостійний об'єкт дослідження.

Моделі в наукових дослідженнях, які не мають певної "передбачуваності", навряд чи можуть вважатися задовільними.

Відомо чимало випадків, коли вивчення чи використання моделей дозволило зробити відкриття. Як приклад можна навести відкриття планети Нептун, становище якої було передбачено французьким астрономом Лавер'є на підставі розрахунків, виконаних з використанням закону всесвітнього тяжіння (тобто моделі) та даних про рух планети Уран. В наш час тільки на підставі результатів теоретичного моделювання відкриті "чорні дірки" в астрофізиці та кварки у фізиці елементарних частинок (і ті, й інші експериментально підтверджені поки непрямо), високотемпературний Т-шар у плазмі (підтверджений експериментально), використання якого дозволяє значно підвищити Коефіцієнт корисної дії магнітогідродинамічних генераторів, які в даний час розглядаються як перспективні пристрої для отримання електричної енергії.

Цілі моделювання

Добре побудована модель, як правило, доступніша, інформативніша і зручніша для дослідника, ніж реальний об'єкт.

Розглянемо основні цілі, переслідувані під час моделювання у науковій сфері. Найважливішим і найпоширенішим призначенням моделей є застосування при вивченні та прогнозуванні поведінки складних процесів і явищ. Слід враховувати, що деякі об'єкти та явища взагалі не можуть бути вивчені безпосередньо. Неприпустимі, наприклад, експерименти з економікою країни чи здоров'ям її населення. Принципово нездійсненні експерименти з минулим якоїсь держави чи народу ("Історія не терпить умовного способу"). Неможливо (принаймні нині) провести експеримент із прямого дослідження структури зірок. Багато експериментів нездійсненні через свою дорожнечу або ризикованість для людини та/або середовища її проживання.

Зазвичай, у час попередні всебічні дослідження різних моделей явища передують проведенню будь-яких складних експериментів. Більше того, експерименти на моделях із застосуванням ЕОМ дозволяють розробити план натурних експериментів, з'ясувати необхідні характеристики вимірювальної апаратури, намітити терміни проведення спостережень, а також оцінити вартість такого експерименту.

Інше, щонайменше важливе, призначення моделей у тому, що з допомогою виявляються найбільш істотні чинники, формують ті чи інші властивості об'єкта, оскільки сама модель відбиває лише деякі основні характеристики вихідного об'єкта. Наприклад, досліджуючи рух масивного тіла в атмосфері поблизу поверхні Землі, можна з'ясувати, що його прискорення суттєво залежить від маси та геометричної форми (зокрема – від величини поперечного до напрямку руху перетину тіла), але не залежить від кольору поверхні.

Модель дозволяє навчитися правильно управляти об'єктом, апробуючи різні варіанти управління на моделі цього об'єкта. Використовувати для цього реальний об'єкт часто буває ризиковано чи просто неможливо. Наприклад, отримати перші навички в управлінні сучасним літаком безпечніше, швидше і дешевше на тренажері (тобто моделі), ніж наражати себе і дорогу машину на ризик.

Якщо властивості об'єкта з часом змінюються, то особливого значення набуває завдання прогнозування станів такого об'єкта під впливом різних чинників. Наприклад, при проектуванні та експлуатації будь-якого складного технічного пристрою, бажано вміти прогнозувати зміну надійності функціонування як окремих підсистем, так і всього пристрою в цілому.

Отже, модель потрібна для того, щоб:

- зрозуміти, як улаштований конкретний об'єкт: яка його структура, основні властивості, закони розвитку, саморозвитку та взаємодії з навколишнім середовищем;
- навчитися керувати об'єктом або процесом, визначати найкращі способи управління при заданих цілях та критеріях;
- прогнозувати прямі та непрямі наслідки реалізації заданих способів та форм впливу на об'єкт.