

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

ЛЕКЦІЯ 3



ПИТАННЯ ДЛЯ РОЗГЛЯДУ

- 1. Моделювання як метод системного аналізу
- 2. Формальні методи побудови моделей
- 3. Кібернетичний підхід
- 4. Системна динаміка
- 5. Теоретико-множинний підхід

1. МОДЕЛЮВАННЯ, ЯК МЕТОД СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

- Однією з проблем, з якою стикаються під час системного аналізу, є **проблема експерименту** над системою. Це пов'язано з матеріальними витратами і (або) значними втратами часу.
- Досвід усієї людської діяльності показує, що у таких ситуаціях треба експериментувати не над самим об'єктом, предметом або системою, а над їх **моделями**.
- Під цим терміном треба розуміти необов'язково модель *фізичну*, тобто копію об'єкта (фізичне моделювання дуже рідко застосовується в системах, які хоч якось пов'язані з людьми), зокрема, у соціальних системах доводиться застосовувати *математичне моделювання*.

У РЯДІ ВИПАДКІВ ТУТ МОЖЕ ДОПОМОГТИ ЕКСПЕРИМЕНТ НАД РЕАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ АБО ЇЇ ЕЛЕМЕНТАМИ (**МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ**) І, НАРЕШТІ, ІНОДІ ДОВОДИТЬСЯ ЗВЕРТАТИСЯ ДО МЕТОДУ «ЧОРНОГО ЯЩИКА», ПРИПУСКАЮЧИ ДЕЯКИЙ СТАТИСТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК МІЖ ЙОГО ВХОДОМ І ВИХОДОМ.

- Питання про **відповідність (адекватність)** моделей **реальності**. Ця відповідність може бути очевидною або експериментально перевіреною для окремих елементів системи. Однак при цьому вже для підсистем, а тим більше для систем у цілому, існує можливість методичної помилки, що пов'язана з об'єктивною неможливістю оцінити адекватність моделі великої системи на логічному рівні. Іншими словами – у реальних системах цілком можливе логічне обґрунтування моделей елементів. Ці моделі ми саме і намагаємося будувати **мінімально-достатніми**, тобто простими настільки, наскільки це можливо без втрати сутності процесів. Однак логічно осмислити взаємодію десятків, сотень а то і більше елементів людина вже не в змозі. І саме тут може “спрацювати” відомий у математиці висновок із знаменитої теореми Геделя – у складній системі, цілком ізольованій від зовнішнього світу, можуть існувати істини (положення, висновки цілком “припустимі” з позицій самої системи), однак такі, що не мають ніякого сенсу **поза** цією системою

СИСТЕМА – ЦЕ НЕ ПРОСТА СУМА ЕЛЕМЕНТІВ, І ЇЇ
ВЛАСТИВОСТІ НЕ ПРОСТО ДОРІВНЮЮТЬ СУМІ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ.

- *Звідси випливає такий висновок – без урахування зовнішнього середовища висновки про поведінку системи, що отримані на основі моделювання, можуть бути цілком обґрунтованими з точки зору погляду зсередини системи.*
- *Однак не виключена і ситуація, коли ці висновки не мають ніякого відношення до системи з точки зору погляду на неї із зовні.*



2. ФОРМАЛЬНІ МЕТОДИ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ

- За допомогою моделі можна досягти двох основних цілей: **описової**, якщо модель призначена для пояснення і кращого розуміння об'єкта, або **приписуючої**, коли модель дає можливість передбачити або відтворити характеристики об'єкта чи визначити його поведінку.
- Тому існує різний ступінь корисності моделей, які використовуються в технічних і соціальних науках.
- У соціальних науках моделі призначені для пояснення існуючих систем, а в техніці вони є допоміжними засобами для створення нових або досконаліших моделей.

ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ЗАКОНИ ПРИРОДИ, ВАРІАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ, АНАЛОГІЇ, ІЄРАРХІЧНІ ЛАНЦЮЖКИ.

- ПРОЦЕС СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ВКЛЮЧАЄ ТАКІ ЕТАПИ:
 1. Словесно-смісловий опис об'єкта або явища – формулювання описової моделі, призначеної для сприяння кращому розумінню об'єкта моделювання.
 2. Числове вираження модельованої реальності для виявлення кількісної міри і меж відповідних якостей; з цією метою ведеться математико-статистична обробка емпіричних даних, пропонується кількісне формулювання якісно встановлених фактів і узагальнень.
 3. Перехід до вибору або формулювання моделей явищ і процесів (варіаційного принципу, аналогії і т. п.) і його запису у формалізованій формі; це рівень структурних теоретичних схем, таких, як системи масового обслуговування, мережі Петрі, скінченні або імовірнісні автомати, діаграми фонд-потік тощо.
 4. Завершення формулювання моделі її "оснащенням" – задавання початкового стану і параметрів об'єкта
 5. Вивчення моделі за допомогою доступних методів (зокрема із застосуванням різних підходів і обчислювальних методів)

У РЕЗУЛЬТАТІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ДОСЯГАЄТЬСЯ ПОСТАВЛЕНА МЕТА. У ЦЬОМУ ВИПАДКУ ПОВИННА БУТИ ВСТАНОВЛЕНА ВСІМА МОЖЛИВИМИ СПОСОБАМИ (ШЛЯХОМ ПОРІВНЯННЯ З ПРАКТИКОЮ, ПОРІВНЯННЯМ З ІНШИМИ ПІДХОДАМИ) ЇЇ АДЕКВАТНІСТЬ, ТОБТО ВІДПОВІДНІСТЬ ОБ'ЄКТА СФОРМУЛЬОВАНИМ УМОВАМ.

3. КІБЕРНЕТИЧНИЙ ПІДХІД

При побудові моделей зазвичай використовують такі формальні підходи:

- кібернетичний,
- системна динаміка,
- теоретико-множинний.

Систему можна вивчати й аналізувати, змінюючи вхідні впливи і спостерігаючи за виходами. Це кібернетичний підхід, згідно з яким система розглядається як "чорний ящик".

Метод "чорного ящика" широко використовується під час моделювання систем, коли для дослідника важливо отримати інформацію про поведінку системи, а не про її будову.

- Дослідник не може зробити однозначний висновок про структуру "чорного ящика", спостерігаючи лише за його входами і виходами, оскільки поведінка модельованої системи нічим не відрізняється від поведінки ізоморфних їй систем. Для побудови моделі використовуються методи теорії ідентифікації.

4. СИСТЕМНА ДИНАМІКА

- Для формального представлення моделей неперервних систем Дж. Форрестер у 1960 році запропонував підхід, названий системною динамікою, який дає можливість будувати моделі динамічних взаємозв'язаних систем за допомогою причинних діаграм циклів і схем виду "фонд-потік".
- Він же запропонував для чисельного моделювання таких систем мову Динамо. Модель будується як система диференціально-різницевих рівнянь, а мова Динамо дає можливість автоматизувати процес їх написання. Практично всі сучасні засоби неперервного і неперервно-дискретного моделювання базуються на цій мові для побудови моделей. На відміну від математичного розв'язання системи таких рівнянь у замкнутому вигляді використовується чисельне розв'язання з дискретним кроком часу, що дає можливість моделювати на деякому проміжку часу динамічні зміни фондів, пов'язаних з точкою часу, і потоків. Фонди і потоки пов'язані між собою через змінні.

ФОНД МОЖНА ТРАКТУВАТИ, ЯК ДЕЯКУ КІЛЬКІСТЬ ЧОГО-НЕБУДЬ, ЩО ВИМІРЮЄТЬСЯ В ПЕВНИХ ОДИНИЦЯХ (НАПРИКЛАД, ФІЗИЧНИХ, ГРОШОВИХ ТА ІН.). ФОНДИ МОЖУТЬ АКУМУЛЮВАТИ ОДИНИЦІ ФОНДУ. КРАЩЕ ВСЬОГО ЇХ ПРЕДСТАВЛЯТИ ЯК РЕЗЕРВУАРИ, РЕСУРСИ АБО БУФЕРА. ФОНДИ ПОПОВНЮЮТЬСЯ ЧЕРЕЗ ВХІДНІ ПОТОКИ І СПОРОЖНЯЮТЬСЯ ЧЕРЕЗ ВИХІДНІ. ЯК БУФЕР ФОНД МОЖЕ ВИКОРИСТОВУВАТИСЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЛАНСУВАННЯ ШВИДКОСТІ НАКОПИЧЕННЯ І ВИТРАЧАННЯ.

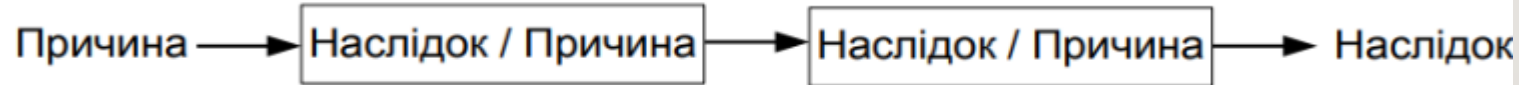
Потік – це процес, що протікає неперервно в часі, оцінити який можна в деяких кількісних одиницях за певний проміжок часу. Залежно від характеристики використання потоки діляться на:

- обмежені і необмежені,
- одно- і двонаправлені,
- конвертовані і неконвертовані.
- Потік, як правило, обмежується фондом. Потоком можна керувати, тобто збільшувати або зменшувати його інтенсивність за допомогою деяких виразів алгебри.

ІСНУЄ БАГАТО РІЗНИХ СПОСОБІВ ПОВ'ЯЗУВАТИ В ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЯХ ПРИЧИНИ І НАСЛІДКИ, НЕ РОЗГЛЯДАЮЧИ КОНКРЕТНІ МЕТОДИ.



а) ізольоване уявлення



б) лінійний зв'язок



в) причинний цикл, нелінійний зворотний зв'язок

- Рис. 1 Три підходи до пов'язування причин і наслідків для побудови моделі

Перший підхід (ізолюване уявлення) полягає в тому, що наслідок виникає з деякої причини і взаємозв'язок між різними причинами відсутній. Такий підхід, наприклад, використовують економісти під час розрахунків. Як правило, для цього застосовують статичні і статистичні моделі.

Другий підхід (лінійний зв'язок) передбачає, що між причинами і наслідками існує лінійний зв'язок у вигляді ланцюжка. Такий підхід підтримують інженери і науковці, які вважають, що всі події у всесвіті залежать одна від одної. Маючи достатню кількість інформації, можна побудувати залежності в часі для всіх подій у майбутньому. Системні мислителі, які застосовують цю парадигму, користуються діаграмами впливу і моделями лінійних рівнянь та вважають, що завжди можна логічно прослідкувати, "що є на вході і що буде на виході".

Згідно з третім підходом (причинний цикл) всесвіт розглядається як система з зворотними зв'язками, тобто ланцюжки причин і наслідків циклічно пов'язані між собою. Таке уявлення підтримують кібернетики, прибічники нелінійної динаміки і хаосу. Вони вважають, що всесвіт значною мірою хаотичний, і передбачити майбутнє, враховуючи його минуле, неможливо. Ці системні мислителі використовують циклічні причинні моделі, нелінійні рівняння в кінцевих різницях. Часто поведінка таких моделей далека від реальності й інтуїтивного уявлення і може бути де в чому неочікуваною для дослідника.



ПОБУДОВА СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИЧИННИХ ЦИКЛІВ ВКЛЮЧАЄ ТАКІ ЕТАПИ:

- 1. Абстрагування від фізичної структури системи.
- 2. Концентрація на процесах для визначення траєкторій, за якими система починає і закінчує працювати.
- 3. Використання простих диференціально-різницевих рівнянь для опису процесів у системі:

$$- \frac{dx}{dt} = kx$$

– показникова функція, яка визначає швидкість зміни фонда в часі, де x – фонд (для прикладу з водопостачанням – це швидкість наповнення резервуара);

$$- \frac{dx}{dt} = ax - bx^2$$

– сигмаїдальна, або логістична, крива, або S-крива;

- або системи рівнянь:

$$\begin{aligned} - \frac{dx}{dt} &= k_1x - k_2x^2 - k_3y; \\ - \frac{dy}{dt} &= k_4y - k_5y^2 - k_6x \end{aligned}$$

(наприклад, x – кількість трав'яїдних тварин, y – кількість хижаків).

Такі системи рівнянь відомі як рівняння Ланкастера. Їх можна використовувати для дослідження складних взаємозв'язків, конкуренції або конфліктів.

- За допомогою комп'ютерів подібні рівняння можна представити в чисельному вигляді. Для цього використовують прості рівняння рекурсії:

$$\frac{dx}{dt} = f(x),$$
$$\frac{x(n+1) - x(n)}{dt} = f(x(n)),$$
$$x(n+1) = dt \cdot f(x(n)) + x(n).$$

Якщо описати дані рівняння словами, то наступний рівень дорівнюватиме попередньому плюс невелика зміна впродовж короткого проміжку часу. У такий спосіб можна будувати складні динамічні моделі за допомогою створення простих блоків у вигляді відношень і рівнів. У сучасних пакетах моделювання цей процес запису рівнянь автоматизований із застосуванням ідеографічних схем. Причинні діаграми циклів дають можливість вести якісне моделювання, а діаграми "фонд-потік" — кількісне.

5. ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННИЙ ПІДХІД

Згідно з теоретико-множинним підходом формальна модель динамічної системи має такий вигляд

$$M = \langle T, X, Y, Z, z(t), P \rangle,$$

де T – модельний час; X, Y – множина значень відповідно вхідних і вихідних змінних; Z – простір станів моделі; $z(t)$ – функція станів, $t \in T$; P – множина процесів, яка визначається як множина впорядкованих у часі пар елементів $p = \langle z, t \rangle$, де $t \in T$, а τ – початковий момент модельного часу для процесу $p \in P$. Таке визначення задає модель системи у вигляді схеми процесів, в якій множина процесів може існувати паралельно в модельному часі T .

Вважається, що деяка подія з множини подій C зумовлює зміну стану системи, якщо починається певний процес $p_i \in P$ або закінчується деякий процес $p_j \in P$. У протилежному випадку стан системи не змінюється. Тоді можна задати **подієву** схему моделі:

$$M = \langle T, X, Y, Z, z(t), C \rangle,$$

де C – множина подій, яка визначається як множина впорядкованих у часі пар елементів $c = \langle s, d[\tau, t_j] \rangle$, де $c \in C$, $d[\tau, t_j]$ – функція дії для процесу $p_j \in P$; $t \in T$, а τ – початковий момент модельного часу T . У цій схемі процес моделювання описується як послідовність подій, які відбуваються в моделі.

Припустимо, що завдяки виконанню деякої умови u з множини U почне виконуватися певна дія $d[\tau, t_j]$ з множини D для деякого процесу $p_j \in P$. Тоді можна задати модель системи у вигляді **схеми дій**:

$$M = (T, X, Y, Z, z(t), D).$$

У цій схемі процес моделювання описується як перевірка всіх умов у разі кожної зміни модельного часу, щоб знайти умову, яка розпочне певну дію з множини D . Зміна часу t може відбуватися з постійним або змінюваним від події до події кроком.

Схеми моделей — широко застосовуються під час побудови алгоритмів моделювання і мов дискретного імітаційного моделювання.

ДОПОВІДЬ ЗАКІНЧЕНО!

- Дякую за увагу!