

Лекція 01.
Поняття моделювання
Способи подання моделей

Модель - спосіб заміщення реального об'єкта, використовуваний для його вивчення. Згодом ми уточнимо дане визначення.

Модель замість вихідного об'єкта використовується у випадках, коли експеримент небезпечний, доріг, відбувається в незручному масштабі простору й часу (довгостроковий, занадто короткочасний, протяжливий...), неможливий, неповторний, ненаочний і т.д. Проілюструємо це:

- «експеримент небезпечний» - при діяльності в агресивному середовищі замість людини краще використати його макет; прикладом може служити місяцехід;
- «доріг» - перш ніж використати ідею в реальній економіці країни, краще випробувати неї на математичній або імітаційній моделі економіки, прорахувавши на ній всі «за» й «проти» й одержавши подання про можливі наслідки;
- «довгостроковий» - вивчити корозію - процес, що відбуваються десятиліття, - вигідніше й швидше на моделі;
- «короткочасний» - вивчати деталі протікання процесу обробки металів вибухом краще на моделі, оскільки такий процес швидкоплинний у часі;
- «протяжливий у просторі» - для вивчення космогонічних процесів зручні математичні моделі, оскільки реальні польоти до зірок (поки) неможливі;
- «мікроскопічний» - для вивчення взаємодії атомів зручно скористатися їхньою моделлю;

- «неможливий» — часто людина має справу із ситуацією, коли об'єкта ні, він ще тільки проектується. При проектуванні важливо не тільки уявити собі майбутній об'єкт, але й випробувати його віртуальний аналог до того, як дефекти проектування виявляться в оригіналі. Важливо: моделювання найтіснішим образом пов'язане із проектуванням. Звичайно спочатку проектують систему, потім її випробовують, потім знову коректують проект і знову випробовують, і так доти, поки проект не стане задовольняти пропонованим до нього вимогам. Процес «проектування-моделювання» цикличен. При цьому цикл має вигляд спіралі - з кожним повтором проект стає усе краще, тому що модель стає усе більше детальною, а рівень опису точніше;

- «неповторний» - це досить рідкий випадок, коли експеримент повторити не можна; у такій ситуації модель - єдиний спосіб вивчення таких явищ. Приклад - історичні процеси, - адже повернути історію назад неможливо;
- «ненаочний» — модель дозволяє заглянути в деталі процесу, у його проміжні стадії; при побудові моделі дослідник як би змушений описати причинно-наслідкові зв'язки, що дозволяють зрозуміти все в єдності, системі. Побудова моделі дисциплінує мислення. Важливо: модель грає системообразующую й смислообразующую роль у науковому пізнанні, дозволяє *зрозуміти* явище, структуру досліджуваного об'єкта. Не побудувавши модель, навряд чи вдасться зрозуміти логіку дії системи. Це означає, що модель дозволяє розкласти систему на елементи, зв'язки, механізми, вимагає пояснити дія системи, визначити причини явищ, характер взаємодії складових.

Процес моделювання є процес переходу з реальної області у віртуальну (модельну) за допомогою **формалізації**, далі відбувається вивчення моделі (властиво **моделювання**) і, нарешті, **інтерпретація** результатів як зворотний перехід з віртуальної області в реальну. Цей шлях заміняє пряме дослідження об'єкта в реальній області, тобто лобове або інтуїтивне рішення задачі. Отже, у найпростішому випадку технологія моделювання має на увазі 3 етапи: **формалізація**, властиво **моделювання**, **інтерпретація** (мал. 1.1).

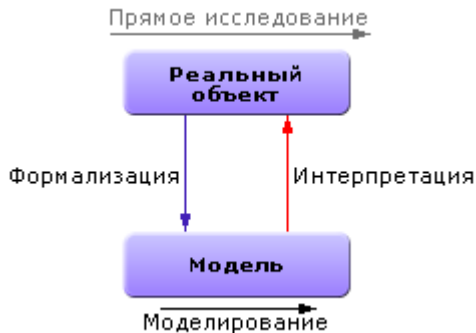


Рис. 1.1. Процесс моделирования (базовый вариант)

Якщо потрібне уточнення, ці етапи повторюються знову й знову: формалізація (проектування), моделювання, інтерпретація. *Спіраль!* Нагору по колу.

Більш докладно весь цикл розробки показаний на мал. 1.14, де відбиті методи, способи, прийоми, за допомогою яких реалізується кожний з етапів.

Оскільки моделювання - спосіб заміщення реального об'єкта його аналогом, то виникає питання: наскільки аналог повинен відповідати вихідному об'єкту?

Варіант 1: відповідність - 100%. Очевидно, що точність рішення в цьому випадку максимальна, а збиток від застосування моделі мінімальний. Але витрати на побудову такої моделі нескінченно великі, тому що об'єкт повторюється у всіх своїх деталях; фактично, створюється точно такий же об'єкт шляхом копіювання його до атомів (що саме по собі не має змісту).

Варіант 2: відповідність - 0%. Модель зовсім не схожа на реальний об'єкт. Очевидно, що точність рішення мінімальна, а збиток від застосування моделі максимальний, нескінченний. Але витрати на побудову такої моделі нульові.

Звичайно, варіанти 1 й 2 — це крайності. Насправді модель створюється з міркувань компромісу між витратами на її побудову й збитком від неточності її застосування. Це крапка між двома нескінченностями. Тобто, моделюючи, варто мати на увазі, що дослідник (моделювальник) повинен прагнути до оптимуму сумарних витрат, що включають збиток від застосування й витрати на виготовлення моделі (див. мал. 1.2).

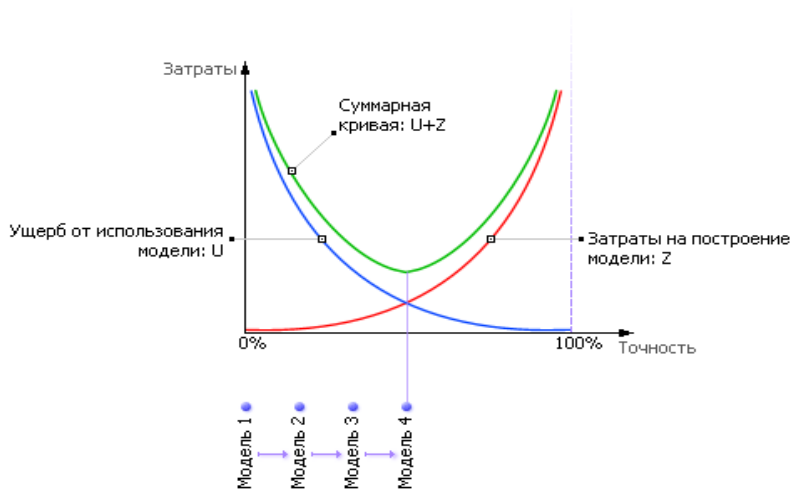


Рис. 1.2. Співвідношення сумарних витрат і точності для різних варіантів деталізації прикладної моделі

Просумуйте дві криві витрат - вийде одна крива загальних витрат. Знайдіть оптимум на сумарній кривій: він лежить між цими крайніми варіантами. Видно, що неточні моделі не потрібні, але й абсолютна точність теж не потрібна, та й неможлива. Часта й розповсюджена омана при побудові моделей - вимагати «як можна точніше».

«Модель — пошук кінцевого в нескінченному» — ця думка належить Д. И. Менделєєву. Що відкидається, щоб перетворити нескінченне в кінцеве? У модель включаються тільки істотні аспекти, що представляють об'єкт, і відкидаються *всі інші* (нескінченна більшість). Істотний або несуттєвий аспект опису визначають відповідно до мети дослідження. Тобто кожна модель складається з якоюсь метою. Починаючи моделювання, дослідник повинен визначити мета, відокремивши її від всіх можливих інших цілей, число яких, очевидно, нескінченно.

На жаль, зазначена на мал. 1.2 крива є умовною й реально до початку моделювання побудована бути не може. Тому на практиці діють у такий спосіб: рухаються по шкалі точності ліворуч праворуч, тобто від простих моделей («Модель 1», «Модель 2»...) до усе більше складного («Модель 3», «Модель 4»...)... А процес моделювання має циклічний спиралеподібний характер: якщо побудована модель не задовольняє вимогам точності, те її деталізують, допрацьовують на наступному циклі (див. мал. 1.3).

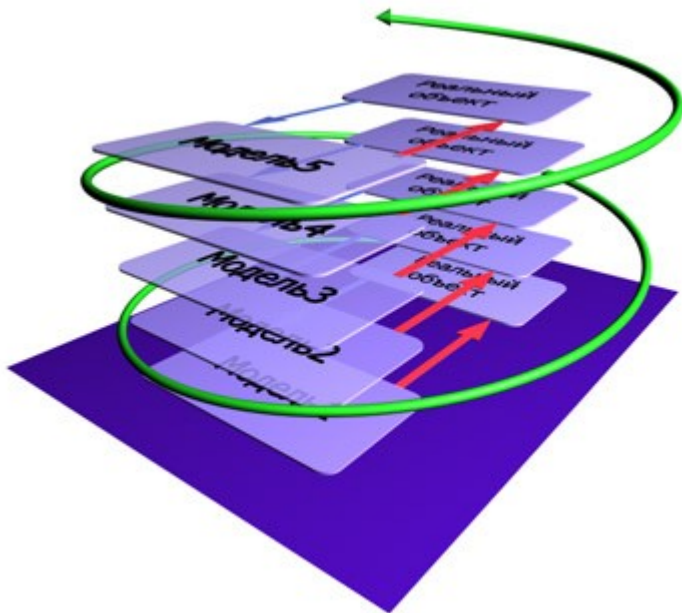


Рис. 1.3. Спиралеподібний характер процесу проектування й уточнення прикладних моделей

Поліпшуючи модель, стежать, щоб ефект від ускладнення моделі перевищував пов'язані із цим витрати. Як тільки дослідник зауважує, що витрати на уточнення моделі перевищують ефект від точності при застосуванні моделі, варто зупинитися, оскільки крапка оптимуму досягнута. Такий підхід завжди гарантує окупність вкладень.

Із усього сказаного треба, що моделей може бути трохи: наближена, більше точна, ще точніше й так далі. Моделі як би утворюють ряд. Рухаючись від варіанта до варіанта, дослідник удосконалює модель. Для побудови й удосконалювання моделей необхідні їхня наступність, засоби відстеження версій і так далі, тобто моделювання вимагає інструмента й опирається на технологію.

Інструмент - типовий засіб, що дозволяє досягти оригінальний результат і скорочення, що забезпечує, витрат на виконання проміжних операцій (іміджі, стандартні бібліотеки, майстри, лінійки, гумки...).

Технологія - набір стандартних способів, прийомів, методів, що дозволяє досягти результату гарантованої якості за допомогою зазначених інструментів за заздалегідь відомий час при заданих витратах, але при дотриманні користувачем оголошених вимог і порядку.

Середовище - сукупність робочого простору й інструментів на ньому, що підтримує зберігання й зміну, наступність проектів й інтерпретуючої властивості об'єктів і систем з них.

Іноді моделі пишуть на мовах програмування, але це довгий і дорогий процес. Для моделювання можна використати математичні пакети, але, як показує досвід, у них звичайно не вистачає багатьох інженерних інструментів. Оптимальним є використання середовища моделювання.

Моделювання є інженерною наукою, технологією рішення задач. Це зауваження - дуже важливе. Тому що технологія є спосіб досягнення результату з відомим заздалегідь якістю й гарантованими витратами й строками, то моделювання, як дисципліна:

- вивчає способи рішення задач, тобто є інженерною наукою;
- є універсальним інструментом, що гарантує рішення будь-яких задач, незалежно від предметної області.

Суміжними моделюванню предметами є: програмування, математика, дослідження операцій.

Програмування — тому що часто модель реалізують на штучному носії (пластилін, вода, цегли, математичні вираження...), а комп'ютер є одним із самих універсальних носіїв інформації й притім активним (імітує пластилін, воду, цегли, уважає математичні вираження й т.д.). Програмування є спосіб викладу алгоритму в формі сови програмування. **Алгоритм** - один зі способів подання (відбиття) думки, процесу, явища в штучному обчислювальному середовищі, який є комп'ютер (фон-нейманівській архітектури). Специфіка алгоритму складається у відбитті послідовності дій. Моделювання може використати програмування, якщо модельований об'єкт легко описати з погляду його поведження. Якщо легше описати властивості об'єкта, то використати програмування важко. Якщо моделююче середовище побудоване не на основі фон-нейманівській архітектури, програмування практично даремно.

Яка різниця між алгоритмом і моделлю?

Алгоритм — це процес рішення задачі шляхом реалізації послідовності кроків, тоді як модель — сукупність потенційних властивостей об'єкта. Якщо до **моделі** порушити **питання** й додати **додаткові умови** у вигляді вихідних даних (зв'язок з іншими об'єктами, початкові умови, обмеження), то вона може бути дозволена дослідником щодо невідомих. Процес рішення задачі може бути представлений алгоритмом (але відомі й інші способи рішення). Взагалі приклади алгоритмів у природі невідомі, вони суть породження людського мозку, розуму, здатного до встановлення плану. Саме алгоритм - це і є план, розгорнутий у послідовність дій. Варто розрізняти поведження об'єктів, пов'язане із природними причинами, і промисел розуму, керуючий ходом руху, що пророкує результат на основі знання й доцільний варіант, що вибирає, поведження.

Отже:

модель + питання + додаткові умови = задача.

Математика - наука, що надає можливість вирахування моделей, що приводять до стандартного (канонічному) виду. Наука про знаходження рішень аналітичних моделей (аналіз) засобами формальних перетворень.

Дослідження операцій - дисципліна, що реалізує способи дослідження моделей з погляду знаходження найкращих керуючих впливів на моделі (синтез). По більшій частині має справа з аналітичними моделями. Допомагає приймати рішення, використовуючи побудовані моделі.

Проектування - процес створення об'єкта і його моделі; моделювання - спосіб оцінки результату проектування; моделювання без проектування не існує.

Суміжними дисциплінами для моделювання можна визнати електротехніку, економіку, біологію, географію й інших у тому розумінні, що вони використовують методи моделювання для дослідження власного прикладного об'єкта (наприклад, модель ландшафту, модель електричного ланцюга, модель грошових потоків і т.д.).

Певним чином близькі дисципліни «Комп'ютерна графіка» й «Системи й методи штучного інтелекту» (див. мал. 1.4).

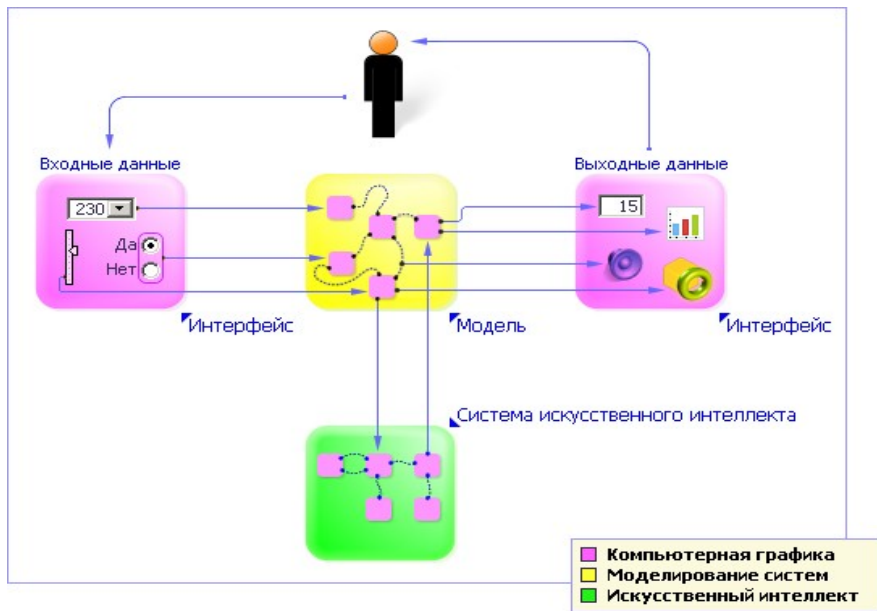


Рис. 1.4. Основні підсистеми при проектуванні комплексних моделей

Комп'ютерна графіка допомагає організувати зручний природний інтерфейс для керування моделлю, для спостереження за її реакціями. Важливо розуміти, що користувач взаємодіє з моделлю не прямо, а саме через інтерфейс: з однієї сторони він посилає їй вихідні (вхідні) дані (наприклад, за допомогою вікон уведення, кнопок, движків, командного рядка й т.д.), з іншого боку - дивиться на результат роботи моделі, тобто сприймає за допомогою інтерфейсу вихідні дані.

Штучний інтелект має на увазі побудова вищих моделей (наприклад, адаптивних, які вміють самонастроюватися, уміють створювати один одного й т.д.). Мається на увазі, що модель інтелекту в стані сама будувати моделі прикладних об'єктів і систем; пояснення того, як це робиться, дається в курсі «Моделі й методи штучного інтелекту». Разом з тим помітимо, що ряд дослідників, говорячи про штучний інтелект, мають на увазі застосування моделей (навчання, відтворення, мови й т.д.) для вивчення й імітації однієї із самих складних систем у Всесвіті — людини.

Помітимо, що штучний інтелект - досить більша модель, що містить велику інформацію про навколишній світ і позначку-модель, що вміють її добудувати. Позначки-моделі мають велика подобу з імітованими ними людиною.

Залежно від носія розрізняють моделі: натурні, уявні, математичні, імітаційні, графічні, фотографічні й так далі. Кожна з моделей має різну здатність до прогнозу властивостей об'єкта. Наприклад, по фотографії людини в анфас навряд чи можна вірно представити, як виглядає його потилиця. Наближення у вигляді тривимірної моделі — набагато краще, але чи можна з її допомогою визначити, коли, наприклад, у віртуальної людини виростуть волосся довжиною 50 див? Імітаційна модель ще більш інформативна. Але найбільшою цінністю володіють моделі, придатні для рішення задач, тобто мат.е прогностичними властивостями, що вміють відповідати на питання. Варто розрізняти два поняття - «модель» й «задача». Модель зв'язує змінні між собою законами. Ці закони діють незалежно від того, яка зараз задача коштує перед нами. Модель об'єктивна, вона подібна до миру, що нас оточує, і містить у собі інформацію про це. Структура миру (у загальному значенні) незмінна, фундаментальна, модель, отже, теж. А людина, як істота суб'єктивне, що має власні цілі, часто мінливі бажання, ставить, залежно від своїх потреб, щораз нові задачі, вимагає вирішити виникаючі в нього проблеми. Він ставить питання до навколишнього світу, із законами якого не можна не вважатися. Зручно ставити питання до моделі, що містить потрібну інформацію про світ. Тому задача - це сукупність питання й моделі. Можна до моделі задавати всі нові й нові питання й при цьому не міняти модель, але міняти задачу.

Те є модель - спосіб знаходження відповідей на питання. Щоб відповісти на поставлене запитання, модель повинна бути перетворена за правилами, що забезпечує її еквівалентність, до виду, що відповідає відповіді на питання. Це означає, що модель повинна бути сформована за правилами певної алгебри (алгебра є правила перетворення). А процедура, що допомагає застосувати такі правила до моделі, називається методом.

Розглянемо приклад.

Модель падіння тіла під кутом до обрію містить інформацію про координати траєкторії, заданих в осях (x, y) : $y = -x^2 + 4 \cdot x - 3$ (координати тіла в польоті) — див. мал. 1.5.

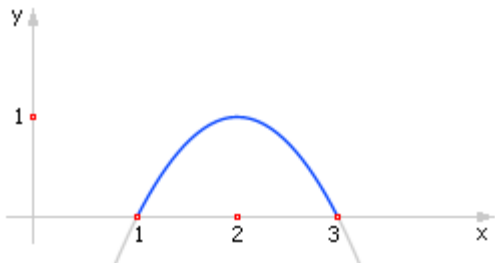


Рис. 1.5. Траєкторія руху тіла,
кинутого під кутом до обрію

Модель зв'язує два змінні y й x закони $f(y, x) = 0$. Модель може бути розширена деякими вихідними даними, наприклад, так: $y = -x^2 + 4 \cdot x - 3$, $y = 0$ (цікавлять не всі можливі значення y , а тільки крапки на поверхні Землі).

$y = 0$ — це теж закон, але більше дрібного масштабу. Такі рівняння можуть з'являтися й зникати залежно від досліджуваної проблеми. Звичайно їх називають гіпотезами.

Питання: $x = ?$

Тепер модель і питання разом утворили задачу:

$$y = -x^2 + 4 \cdot x - 3,$$

$$y = 0,$$

$$x = ?$$

Трактувати задачу можна так: при яких значеннях x тіло виявиться на поверхні Землі?

Модель має на увазі, що дослідник може вирішувати з її допомогою прямі й зворотні задачі.

Пряма задача не вимагає алгебраїчних перетворень, досить тільки арифметичних підстановок: $x = 2$, $y = -x^2 + 4 \cdot x - 3$, $y = ?$. Відповідь: $y = 1$. Тобто, якщо на вхід моделі подати значення 2, то на виході моделі буде значення 1 — див. мал. 1.6.

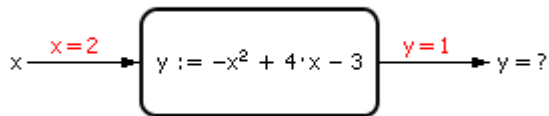


Рис. 1.6. Вид моделі для рішення прямої задачі

Зворотна задача: $y = 0$, $y = -x^2 + 4 \cdot x - 3$, $x = ?$. Відповідь: $x = 1$, $x = 3$. Тобто відповідь говорить: щоб на виході моделі забезпечити значення 0, треба, щоб на вхід моделі було подане значення 1 (або 3).

І в першому, і в другому випадку ми в різній мері перетворювали модель, але завжди так, щоб на вході в неї була відома величина, а на виході - невідома.

У першому варіанті $y := -x^2 + 4 \cdot x - 3$.

У другому варіанті модель перетвориться до виду: $0 = -x^2 + 4 \cdot x - 3$. Тут ми опустили ряд перетворень, відомих з курсу середньої школи, а саме:

$D := b^2 - 4 \cdot a \cdot c$, де $a = -1$, $b = 4$, $c = -3$.

$x := (-b \pm \text{sqrt}(D))/(2 \cdot a)$.

$x := 1$ або $x := 3$.

Перетворення відбувалися з урахуванням правил алгебри. Якби правила алгебри були нам невідомі, то вирішити зворотню задачу нам би не вдалося. А виходить, не вдалося б відповісти на поставлене запитання: « $x = ?$ ».

Здібність моделі перетворювати за допомогою алгебри дає можливість надалі використати її багаторазово для рішення різних задач, робити на ній прогнози.

Зрівняйте: телефонний довідник - це теж своєрідна модель, але які прогнози ви можете зробити, які зворотні задачі вирішити? Як обчислити прізвище абонента по номері телефону? Яку алгебру ви використаєте?

Тому, створюючи модель, варто обов'язково думати про те, якою алгеброю вона буде перетворювати. Створювати алгебру треба паралельно з моделлю або використати вже готову алгебру й не відходити при побудові моделі від її правил.

Ще один тип задач, що доводиться вирішувати на моделях - задачі настроювання моделі.

Приведемо приклад. При яких значеннях параметра a модель $y = a \cdot x^2 + 4 \cdot x - 3$ забезпечить $y = 9$ при $x = 2$? Вирішуємо систему рівнянь:

$$y = a \cdot x^2 + 4 \cdot x - 3$$

$$y = 9$$

$$x = 2$$

або

$$9 = a \cdot 2^2 + 4 \cdot 2 - 3$$

Далі, за правилами арифметики й алгебри, одержимо відповідь: $a = 1$.

Від показаного на мал. 1.7 структурного зображення моделі можна перейти до іншого, математичного, її виду: $Y = M(X)$.

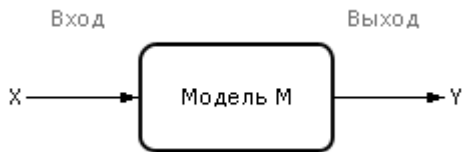


Рис. 1.7. Структурне зображення моделі в **середовищі** моделювання

Модель — закономірність, що перетворить вхідні значення у вихідні. А як відомо з математики, з вираженням $Y = M(X)$ можна вирішити три види задач, які наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Форми запису моделі й типи розв'язуваних задач

	Відомо	Невідомо	Рішення
Пряма задача	X, M	Y	$Y = M(X)$
Зворотна задача	Y, M	X	$X = M^{-1}(Y)$
Задача настроювання моделі	X, Y	M	$M = f(X, Y)$

Ряд моделей може бути недовизначений - це означає, що варіантів відповідей багато (два, три, сто або нескінченна множина). Якщо потрібний одна відповідь, то проблему треба довизначати, доповнювати умовами. «Недовизначений» означає, що можна довільно, крім гіпотез, законів, відповіді, зажадати додатково виконання ще якихось умов. Можливо, при побудові моделі щось не було враховано, не вистачає якихось законів. Рецепт зрозумілий: модель треба добудувати. Але може бути й по-іншому. Рішень багато і є, видимо, кращі рішення, і є гірше. Тоді для знаходження кращого рішення варто звужити область рішень, накладаючи певні обмеження, щоб відсіяти інші. Такі задачі часто називають задачами керування.

Частина визначень, яким треба безумовно задовольнити, називаються обмеженнями.

Частина визначень, щодо яких висловлюють тільки побажання («бути якнайбільше або менше»), називаються критеріями.

У цілому виходить зворотна задача. А те, що треба визначити - керована змінна. Тобто цікавляться: як варто змінити вхідний параметр (керування), щоб забезпечити виконання законів, не вийти за обмеження й щоб при цьому критерій прийняв найкраще значення?

Приклад. Модель: $y = -x^2 + 4 \cdot x - 3$. Питання: $x = ?$ Довизначення моделі: y повинен бути максимізований, $x \geq 2.5$. Тому що y повинен бути максимізований, то ми повинні намагатися рухатися нагору уздовж графіка функції (мал. 1.8) і стежити, щоб значення x не стало менше 2.5. Як видно з малюнка, значення y стане максимальним при $x = 2.5$. Відповідь: $y = 0.75$, $x = 2.5$.

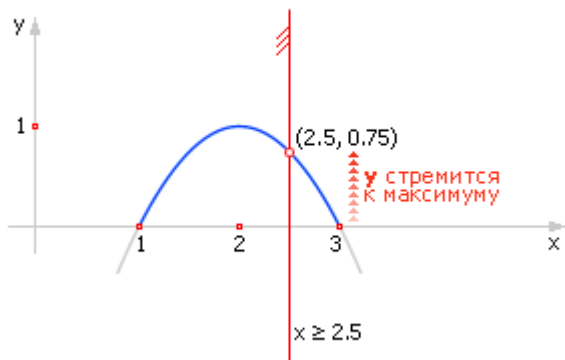


Рис. 1.8. Графічна ілюстрація рішення задачі з обмеженнями

Відзначимо, що створити модель буває простіше, ніж відразу дати собі відповідь на питання, що цікавить. Напевно, на практиці ви зауважували, що часто набагато простіше скласти рівняння, чим угадати рішення задачі. Наприклад: вирішено розділити величезна куля розміром із Землю на дві половинки, отриману половинку знову поділити навпіл і так далі. Спробуйте відповісти на запитання: скільки разів (n) треба провести таку операцію, щоб розмір діленої часточки в результаті досяг розміру атома? Напевно, відразу відповісти на це питання не вдасться, інтуїція підводить, прийде скласти модель.

Пусть $D = 6\,400\text{ км} = 6\,400\,000\text{ м}$ — діаметр кулі (Землі), а $d = 10^{-9}\text{ м}$ — діаметр атома. Тоді модель є вираження: $2^n = D/d$ або $2^n = 6\,400\,000/10^{-9}$. Звідси одержуємо: $2^n = 6.4 \cdot 10^{15}$ або $n = \log_2(6.4 \cdot 10^{15})$. Отже, приблизно, $n = 53$.
Несподіваний результат, не чи правда?! чи Можна було його вгадати?

Ще кілька прикладів. Тривіальні моделі: $x = 5^\circ$; телефон друга Бортко — 403–36–54. Такі моделі не несуть у собі прогностичних властивостей, оскільки на основі відомої інформації неможливо обчислити яким-небудь образом іншу інформацію. Знаючи телефон одного друга Бортка, неможливо обчислити телефон іншого його друга. Це так називані пра-моделі (pra-model). Фактично це дані.

Помітимо, що недооцінка в сучасних умовах поняття моделювання веде до використання в АРМах комерційного призначення тільки даних. Саме тому такі АРМи не здатні вирішувати прогностичні задачі й вирішують, в основному, тільки облікові задачі (див. мал. 1.9).

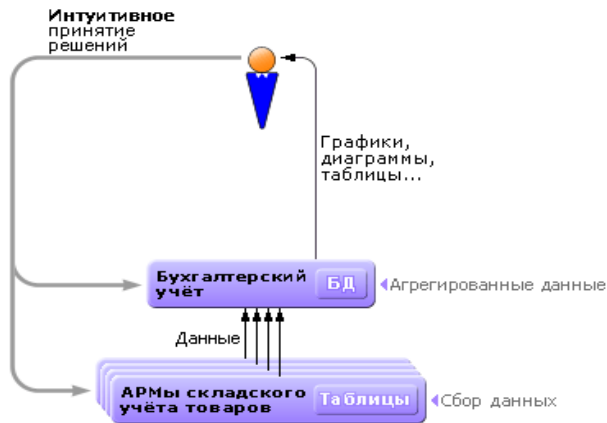


Рис. 1.9. Типова схема взаємодії АРМів в АСУ
(без рішення задач прогнозування)

Щоб програти ситуацію на підприємстві на майбутнє, довідатися, до чого приведе те або інше рішення, треба до складу АРМів включати моделі (див. мал. 1.10).

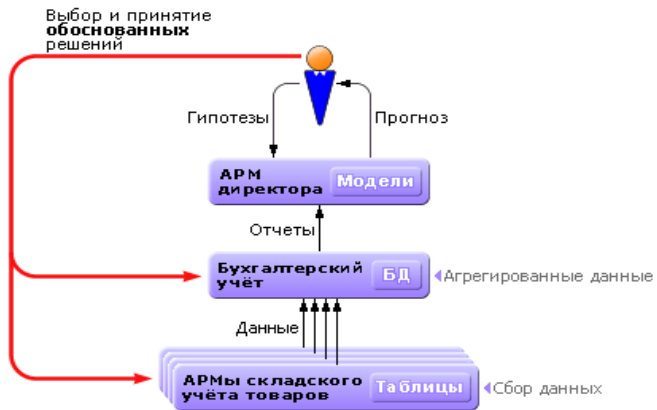


Рис. 1.10. Схема взаємодії АРМів в АСУ (при постановці задач прогнозування)

На мал. 1.11 показана піраміда моделей, різних по ступені прогностичності.

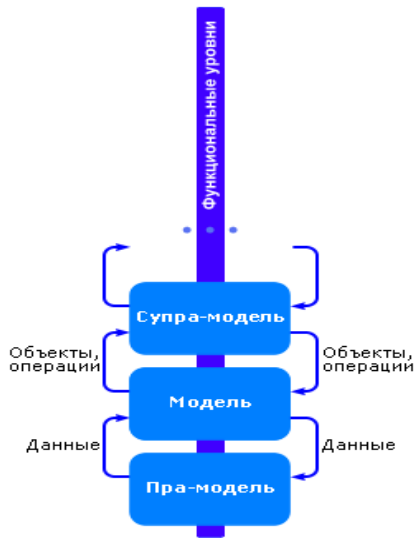


Рис. 1.11.

Співвідношення типів моделей
по ступені прогностичності

Зверніть увагу: рівень «Модель» «харчується» інформацією, структурованої по типі попереднього рівня «Пра-модель», тобто вона споживає на вході *дані*, переробляє їх і повертає теж *дані*, тобто моделі більше низького рівня (пра-моделі). Підкреслимо ще раз, що *дані* — це теж моделі! Рівень «Супра-модель» споживає на вході *моделі* у вигляді об'єктів й операцій, переробляє їх і повертає *моделі* (прикладом таких супра-моделей можуть служити граматики, здатні перетворювати моделі (рівняння). Даний принцип справедливий і для всіх наступних (вищестоящих) рівнів. Піраміда на мал. 1.11 представлена у вигляді функціональних рівнів; це означає, що кожен наступний рівень могутніше попереднього, тобто він дозволяє одержати більший, могутніший якісний результат.

Моделі можуть приймати різну форму, залежно від способу мислення дослідника, його погляду на мир, використовуваної алгебри. Використання різних математичних апаратів згодом приводить до різних можливостей у рішенні задач.

Моделі можуть бути:

- феноменологічні й абстрактні;
- активні й пасивні;
- статичні й динамічні;
- дискретні й безперервні;
- детерміновані й стохастичні;
- функціональні й об'єктні.

Феноменологічні моделі сильно прив'язані до конкретного явища. Зміна ситуації часто приводить до того, що моделлю скористатися в нових умовах досить складно. Це відбувається тому, що при складанні моделі її не вдалося побудувати з погляду подоби внутрішній будові модельованої системи. Феноменологічні модель передає зовнішня подоба.

Абстрактна модель відтворює систему з погляду її внутрішнього пристрою, копіює її більш точно. У неї більше можливостей, ширше клас розв'язуваних задач.

Активні моделі взаємодіють із користувачем; можуть не тільки, як пасивні, видавати відповіді на питання користувача, коли той про це попросить, але й самі активують діалог, міняють його лінію, мають власні цілі. Все це відбувається за рахунок того, що активні моделі можуть самозмінюватися.

Статичні моделі описують явища без розвитку. Динамічні моделі простежують поведження систем, тому використовують у своєму записі, наприклад, диференціальні рівняння, похідні від часу.

Дискретні й безперервні моделі. Дискретні моделі змінюють стан змінних стрибком, тому що не мають детального опису зв'язку причин і наслідків, частина процесу схована від дослідника. Безперервні моделі більше точні, містять у собі інформацію про деталі переходу.

Детерміновані й стохастичні моделі. Якщо наслідок точно визначений причиною, то модель представляє процес детерміновано. Якщо через невивченість деталей не вдається описати точно зв'язок причин і наслідків, а можливо тільки опис у цілому, статистично (що часто й буває для складних систем), то модель будується з використанням поняття ймовірності.

Розподілені, структурні, зосереджені моделі. Якщо параметр, що описує властивість об'єкта, у будь-яких його крапках має однакове значення (хоча може мінятися в часі!), то це система із зосередженими параметрами. Якщо параметр приймає різні значення в різних крапках об'єкта, то говорять, що він розподілений, а модель, що описує об'єкт, - розподілена. Іноді модель копіює структуру об'єкта, але параметри об'єкта зосереджені, тоді модель - структурна.

Функціональні й об'єктні моделі. Якщо опис іде з погляду поводження, то модель побудована по функціональній ознаці. Якщо опис кожного об'єкта відділено від опису іншого об'єкта, якщо описуються властивості об'єкта, з яких випливає його поводження, то модель є об'єкто-орієнтованою.

Кожен підхід має свої достоїнства й недоліки. Різні математичні апарати мають різні можливості (потужність) для рішення задач, різні потреби в обчислювальних ресурсах. Той самий об'єкт може бути описаний різними способами. Інженер повинен грамотно застосовувати те або інше подання, виходячи з поточних умов і вартої перед ним проблеми.

Наведена вище класифікація є ідеальною. Моделі складних систем звичайно мають комплексний вигляд, використають у своєму складі відразу кілька подань. Якщо вдається звести модель до одного типу, для якого вже сформульована алгебра, то дослідження моделі, рішення задач на ній істотно спрощується, стає типовим. Для цього модель повинна бути різними способами (спрощенням, перепозначенням й іншими) наведена до канонічного виду, тобто до виду, для якого вже сформульована алгебра, її методи. Залежно від використовуваного типу моделі (алгебраїчні, диференціальні, графи й т.д.) на різних етапах її дослідження використаються різні математичні апарати.

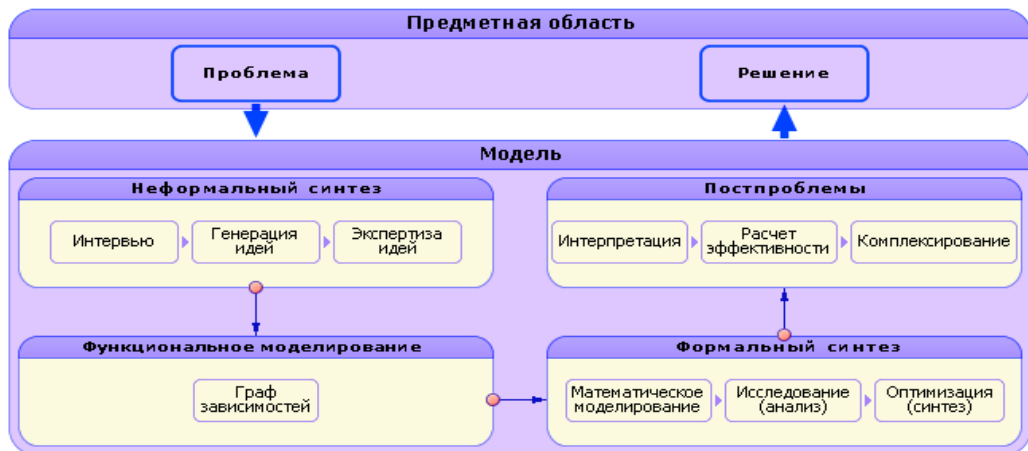


Рис. 1.13. Схема процессу моделирования (уточненный вариант)

На мал. 1.15 представлені етапи побудови моделі.

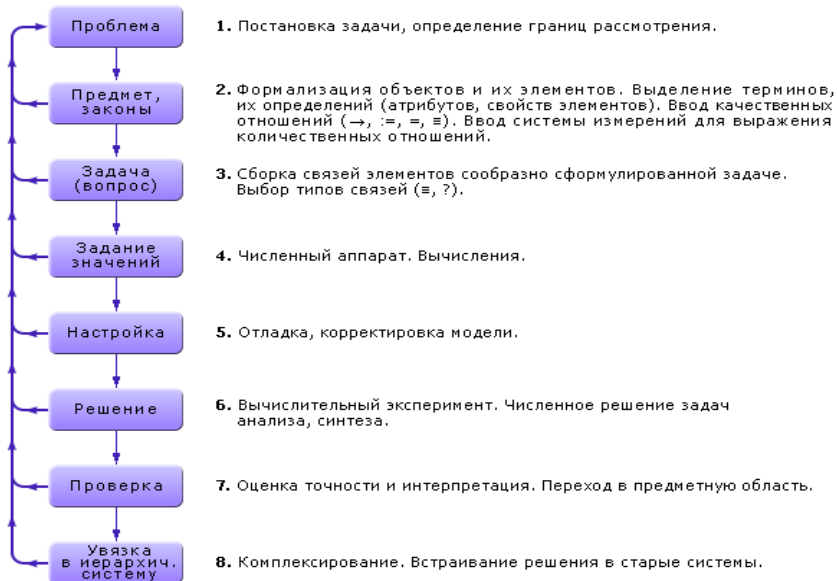


Рис. 1.15. Етапи процесу моделювання

Звичайно, моделювання, як уже було сказано, у з'єднанні із проектуванням — це технологія рішення проблем, задач. Але в кожній технології все-таки є границя, за якої вона менш ефективна. Така границя є й тут. Подивіться знову на мал. 1.13. Очевидно, що перші етапи вирішують менш формалізовані задачі, а наступні — усе більше формальні. Відповідно, методи перших етапів менш формалізовані, а наступних - більше формальні, потужні. Це означає, що самі важкі й відповідальні етапи для моделювальника - перші. Тут від нього потрібно більше інтуїтивних рішень. І помилка на більше ранніх етапах більше позначається на подальших рішеннях, повертатися й переробляти доводиться набагато більше, ніж на останніх етапах. Тому вдалі рішення на перших етапах викликають пильний інтерес системотехніків, наука моделювання проявляє до них підвищену увагу. Оскільки формальні методи легко автоматизують, то останні етапи схеми підтримані програмними продуктами й легко доступні кінцевим користувачам, але найбільший інтерес сьогодні представляють програмні продукти, що підтримують перші етапи - системи, що допомагають формалізувати задачі. А також системи, що забезпечують наскрізне проектування, доведене до моделювання й кінцевої реалізації (автоматичне породження коду по описі проекту).

Тут можна згадати два напрямки. Перше - інструментальне. Проектувальникові необхідний інструмент для формального опису розглянутого їм об'єкта. Відомо кілька таких інструментів: RationalRose, «Аналітик», IDEF за технологією SADT, Stratum. Є інструменти, що підказують рішення, є просто пасивні набори, бібліотеки. Одним з інструментів знаходження рішень є технологія АЛРИЗ; впливаючи її алгоритму, відповідаючи на питання цієї технології, можна гарантовано прийти до рішення.

Другий шлях - аналітичні системи, що виводять із фактів знання. Про неї піде мова в наступному нашому курсі - «Системи й методи штучного інтелекту».

Як приклад подивимося, як можна виявити, а потім описати закономірність.

Допустимо, що нам потрібно вирішити «Задачу про розрізування», тобто треба пророчити, скільки буде потрібно розрізів у вигляді прямих ліній, щоб розділити фігуру (мал. 1.16) на задане число шматків (для приклада досить, щоб фігура була опуклою).

Спробуємо вирішити цю задачу вручну.

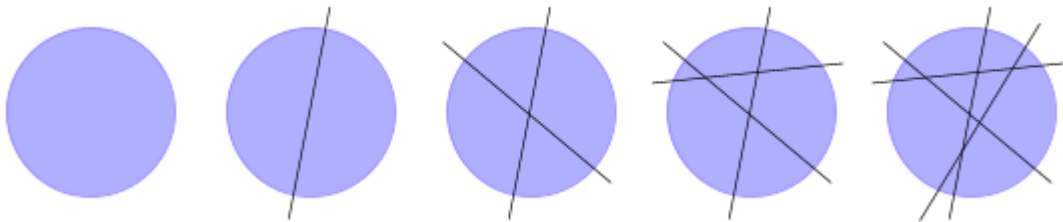


Рис. 1.16. **Задача** про розрізування фігури на задане число шматків

З мал. 1.16 видно, що при 0 розрізах утвориться 1 шматок, при 1 розрізі утвориться 2 шматки, при двох — 4, при трьох — 7, при чотирьох — 11. Чи можете ви зараз сказати наперед, скільки буде потрібно розрізів для утворення, наприклад, 821 шматка? По-моєму, немає! Чому ви утрудняєтеся? — Вам невідома закономірність $K = f(P)$, де K — кількість шматків, P — кількість розрізів. Як виявити закономірність?

Залишимо таблицю, що зв'язує відомі нам числа шматків і розрізів.

Таблиця 1.2.

Таблиця відповідності розрізів і фрагментів, що **виходять**, фігури

Розрізи	0	1	2	3	4	...
Шматки	1	2	4	7	11	...

Поки закономірність не ясна. Тому розглянемо різниці між окремими експериментами, подивимося, чим відрізняється результат одного експерименту від іншого. Зрозумівши різницю, ми знайдемо спосіб переходу від одного результату до іншого, тобто закон, що зв'язує K й P .

Таблиця 1.3.

Таблиця відповідності розрізів і фрагментів, що виходять, фігури

Розрізи	0	1	2	3	4	...
Шматки	1	2	4	7	11	...
Перші різниці	-	$1 = 2 - 1$	$2 = 4 - 2$	$3 = 7 - 4$	$4 = 11 - 7$...

Уже деяка закономірність виявилася, не чи правда?

Обчислимо другі різниці.

Таблиця 1.4.
Таблиця відповідності розрізів і фрагментів, що **виходять**, фігури

Розрізи	0	1	2	3	4
Шматки	1	2	4	7	11
Перші різниці	–	$1 = 2 - 1$	$2 = 4 - 2$	$3 = 7 - 4$	$4 = 11 - 7$
Другі різниці	–	$1 = 2 - 1$	$1 = 3 - 2$	$1 = 4 - 3$...

Очевидно, що далі продовжувати процедуру обчислення різниць змісту немає.

Тепер все просто. Функція f називається виробляючою функцією. Якщо вона лінійна, то перші різниці рівні між собою. Якщо вона квадратична, то другі різниці рівні між собою. І так далі.

Функція f є окремий випадок формули Ньютона:

$$a + \frac{b \cdot n}{1} + \frac{c \cdot n(n-1)}{1 \cdot 2} + \frac{d \cdot n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{e \cdot n(n-1)(n-2)(n-3)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} + \dots$$

Коефіцієнти a, b, c, d, e для нашої *квадратичної* функції f перебувають у перших осередках рядків експериментальної таблиці 1.5.

Таблиця 1.5.
Таблиця відповідності розрізів
і фрагментів, що **виходять**, фігури

Розрізи	0	1	2	3	4	...
Шматки	$a = 1$	2	4	7	11	...
Перші різниці	-	$b = 1$	$2 = 4 - 2$	$3 = 7 - 4$	$4 = 11 - 7$...
Другі різниці	-	$c = 1$	$1 = 3 - 2$	$1 = 4 - 3$

Отже, закономірність ϵ , і вона така:

$$K = a + b \cdot p + c \cdot p \cdot (p - 1)/2 = 1 + p + p \cdot (p - 1)/2 = 0.5 \cdot p^2 + 0.5 \cdot p + 1.$$

Тепер, коли закономірність визначена, можна вирішити зворотну задачу й відповістити на поставлене запитання: скільки треба виконати розрізів, щоб одержати 821 шматок? $K = 821$, $K = 0.5 \cdot p^2 + 0.5 \cdot p + 1$, $p = ?$

Вирішуємо квадратне рівняння $821 = 0.5 \cdot p^2 + 0.5 \cdot p + 1$, знаходимо корінь:
 $p = 40$.

Підведемо підсумки (зверніть на це увагу!).

Відразу вгадати рішення ми не змогли. Поставити експеримент виявилось важко. Довелося побудувати модель, тобто знайти закономірність між змінними. Модель вийшла у вигляді рівняння. Додавши до рівняння питання й рівняння, що відбиває відома умова, утворили задачу. Оскільки задача виявилася типового виду (канонічного), те її вдалося вирішити одним з відомих методів. Тому задача виявилася вирішена.

І ще дуже важливо відзначити, що модель відбиває причинно-наслідкові зв'язки. Між змінними побудованої моделі дійсно є міцний зв'язок. Зміна один змінної спричиняє зміна іншої. Ми раніше сказали, що «модель грає системообразуючу й змістообразуючу роль у науковому пізнанні, дозволяє зрозуміти явище, структуру досліджуваного об'єкта, встановити зв'язок причини й наслідку між собою». Це означає, що модель дозволяє визначити причини явищ, характер взаємодії її складових. Модель зв'язує причини й наслідки через закони, тобто змінні зв'язуються між собою через рівняння або вираження.

Але!!! Сама математика не дає можливості виводити з результатів експериментів які-небудь закони або моделі, як це може здатися після розглянутого тільки що приклада. Математика це тільки спосіб вивчення об'єкта, явища, і, причому, один з декількох можливих способів мислення. Є ще, наприклад, релігійний спосіб або спосіб, яким користуються художники, інтуїтивний[^]-інтуїтивний-емоційно-інтуїтивний, за допомогою цих способів теж пізнають мир, природу, людей, себе.

Отже, гіпотезу про зв'язок змінних А и В треба вносити самому дослідникові, ззовні, поверх того. А як це робить людина? Порадити внести гіпотезу легко, але як навчити цьому, пояснити це дійство, а виходить, знов-таки як його формалізувати? Докладно ми покажемо це в курсі «Системи й методи штучного інтелекту».

А от чому це треба робити ззовні, окремо, додатково й поверх того, пояснимо зараз. Носить це міркування ім'я Геделя, що довів теорему про неповноту — не можна довести правильність деякої теорії (моделі) у рамках цієї ж теорії (моделі). Подивіться ще раз на мал. 1.12. Модель більше високого рівня перетворить **еквівалентно** модель більше низького рівня з одного виду в іншій. Або генерує модель більше низького рівня по еквівалентному знову ж її описі. А от саму себе вона перетворити не може. Модель буде модель. І ця піраміда моделей (теорій) нескінченна.

А поки, щоб «не підірватися на дурниці», вам треба бути насторожі й перевіряти всі здоровим глуздом. Приведемо приклад, старий відомий жарт із фольклору фізиків.

«Про шкоду огірків»

Огірки вас погублять! Кожен з'їдений огірок наближає вас до смерті. Дивно, як думаючі люди дотепер не розпізнали смертоносності цього рослинного продукту й навіть прибігають до його назви для порівняння в позитивному змісті («як огірочок!»). І, незважаючи ні на що, виробництво консервованих огірків росте.

З огірками зв'язані всі тілесні недуги й взагалі всі людські нещастя.

1. Практично всі люди, що страждають хронічними захворюваннями, їли огірки.
2. 99.9 % всіх людей, що вмерли від раку, при житті їли огірки.
3. 100% всіх солдатів їли огірки.
4. 99.7 % всіх осіб, що стали жертвами автомобільних й авіаційних катастроф, уживали огірки в їжу протягом двох тижнів, що передували нещасному випадку.
5. 93.1 % всіх малолітніх злочинців походять із родин, де огірки споживали постійно.

Є дані й про те, що шкідлива дія огірків позначається дуже довго: серед людей, що народилися в 1889 році й харчувалися згодом огірками, смертність дорівнює 100%. Всі особи народження 1889-1909 років мають в'ялу зморшкувату шкіру, втратили майже всі зуби, практично осліпли (якщо хвороби, викликані споживанням огірків, не звели їх уже давно в могилу).

Ще більш переконливий результат, отриманий відомим колективом вчених-медиків: морські свинки, яким примусово згодовували по 20 фунтів огірків у день протягом місяця, втратили апетит!

Єдиний спосіб уникнути шкідливої дії огірків - змінити дієту. Їжте суп з болотних орхідей. Від нього, наскільки нам відомо, ще ніхто не вмирав.

От так!

Рухаємося далі. Складність задачі часто диктує той спосіб подання моделі, що буде використатися при її описі. Покажемо це на прикладі найпростішої задачі.

Задача 1. Нехай два об'єкти (наприклад, пішохід і велосипедист) рухаються один одному назустріч (мал. 1.17) зі швидкостями V_1 й V_2 відповідно. Необхідно довідатися: коли й де зустрінуться ці об'єкти?

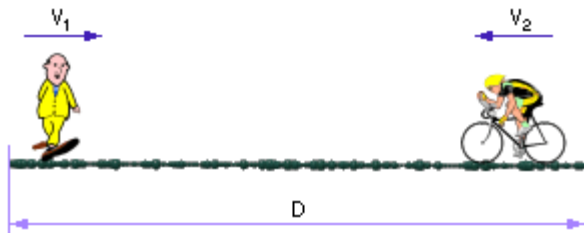


Рис. 1.17. **Задача** про зустріч

Аналітичний спосіб подання задачі 1

Аналітичний явний спосіб

Ця модель досить далека від реальності. Що-небудь вивчити на ній представляється проблематичним, тому що з її можна знайти тільки час T і місце зустрічі S . Ідеалізація полягає в тім, що дорога вважається ідеально прямій, без ухилів і підйомів, швидкості об'єктів уважаються постійними, бажання об'єктів не міняються, сили безмежні, відсутні перешкоди для руху, модель не залежить від величин D , V_1 , V_2 (вони можуть бути як завгодно більшими або малими).

$$T_1 := D / (V_1 +$$

$$V_2)$$

$$S_1 := V_1 \cdot T_1$$

Реальність звичайно не має нічого загального з такою постановкою задачі. Але за рахунок великої ідеалізації (ідеалізації великого порядку) виходить дуже проста модель, що може бути дозволена в загальному виді (аналітично) математичними способами. Так формулюються найчастіше алгоритмічні моделі, де протягнена ланцюжок обчислень від вихідних даних до виходу. Тому ми застосували в записі знак присвоювання ($:=$). Після обчислення правої частини вираження її значення привласнюється змінної, вартої в лівій частині. Далі значення цієї змінної застосоване в правій частині наступного вираження. Схематично це виглядає так, як показано на мал. 1.18.

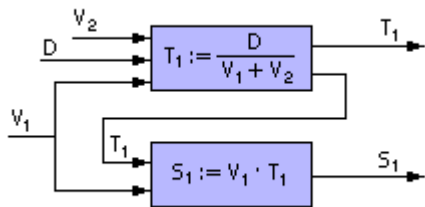


Рис. 1.18. Схема рішення задачі про зустріч
(аналітичний явний спосіб)

Аналітичний неявний спосіб

У даному формулюванні за рахунок використання знака урівнювання отриманий зв'язок змінних $f(T, V_1, V_2, D, S) = 0$ у вигляді системи рівнянь. Установлюючи знак «?» на різні змінні, можна формулювати при необхідності цілий ряд довільних задач, наприклад так:

$$T_1 \cdot (V_1 + V_2) =$$

D

$$S_1 = V_1 \cdot T_1$$

$$T_1 = ?$$

При цьому задачі формулюються користувачем і не передбачаються спеціально моделювальником. Тобто модель має вигляд об'єкта. Ми одержали більше якісну модель. Ідеалізація її велика, але за рахунок неявної форми запису з'явилася можливість зміни задачі, вивчення на ній цілого ряду проблем.

Імітаційний спосіб подання задачі 1

При імітаційному способі рішення обов'язковим є наявність якогось лічильника, що дозволяє моделювати процес по кроках або по деталях процесу.

І м і т а ц і й н и й а л г о р и т м і ч н и й с п о с і б

Повторюючи покроково розрахунок у циклі, на кожному етапі роботи алгоритму будемо імітувати плин процесу (мал. 1.19). Зверніть увагу, що процес береться не в цілому, а як би в деталях, по кроках. Змінна t є координатою, а виходить, відслідковується лічильником із кроком h . Ідея імітації — просувати пішоход і велосипедиста на величину $V \cdot h$ на кожному такті, де h — досить мала величина. Оскільки ми розглядаємо множину актів руху окремо, можна по ходу міняти всі змінні моделі, наприклад, V . Якщо шлях пройдений великий (S_1), то можна влаштувати привал ($V = 0$) на якийсь час. Зупинка процесу імітації визначається сумою шляхів, пройдених велосипедистом і пішоходом назустріч один одному, і порівнянням її з відстанню D .

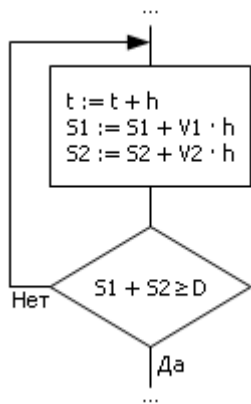


Рис. 1.19. Блок-схема рішення задачі про зустріч (імітаційний алгоритмічний спосіб)

Формально-математичною мовою алгоритм виглядає так, як показано нижче.

```
t := t + h · e
S1 := S1 + V1 · h · e
S2 := S2 + V2 · h · e
e := ed(D - (S1 + S2
))
f := not(e)
stop(f)
```

e — допоміжний прапор;

f — прапор, що показує, чи був пройдений до сучасний момент t весь чи шлях ні;

ed(x) — одинична функція: ed(x) = 1 при $x \geq 0$, інакше ed(x) = 0;

stop(z) — функція зупини обчислень при $z > 0$.

Імітаційний геометричний спосіб

Рішення може бути знайдене геометрично. Для цього в осях (t, S) схемою, показаної на мал. 1.20, будуються траєкторії руху об'єктів.

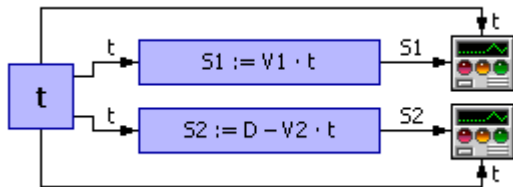


Рис. 1.20. Схема рішення задачі про зустріч (імітаційний геометричний спосіб)

На мал. 1.21 ви бачите картину, утворену двома осцилограмами. Крапка, у якій перетинаються осцилограми, є передбачуваною крапкою зустрічі двох об'єктів.

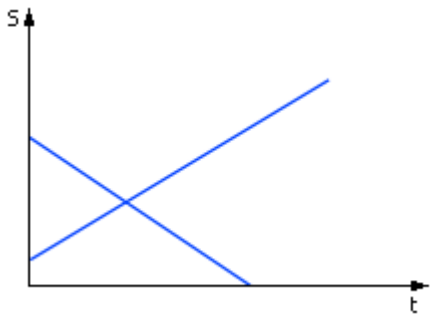


Рис. 1.21. Вид рішення задачі про зустріч (імітаційний геометричний спосіб)

Імітаційна статистична постановка задачі

Головна відмінність імітаційних моделей від аналітичних, які ми розглянули вище, полягає в тому, що імітаційну модель можна поступово ускладнювати, при цьому результативність моделі не падає.

Ускладнимо задачу 1, увівши в неї додаткова умова. Представимо, що на шляху першого й/або другого об'єкта зустрінеться перешкода - нехай це буде ділянка залізниці зі шлагбаумом, що працює за випадковим законом. Якщо шлагбаум відкритий, то об'єкт може переходити залізницю, у протилежному випадку він не має права цього робити.

Промодельовувати випадкову роботу шлагбаума можна за допомогою генератора випадкових чисел (ГВЧ). У різні моменти часу ГВЧ буде видавати випадкове число $r = 0$ або $r = 1$, це буде означати, що шлагбаум закритий або, відповідно, відкритий (див. мал. 1.22).

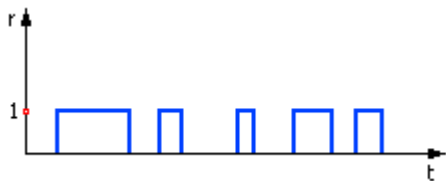


Рис. 1.22. Вид функції випадкових
перешкод
(до задачі про зустріч)

Частоту відкривання шлагбаума можна контролювати, збільшуючи або, навпаки, зменшуючи число q , перерахувавши випадкове число r в z по формулі:
 $z := \text{ed}(q - r)$.

На мал. 1.23 дана ілюстрація ускладненої задачі 1.

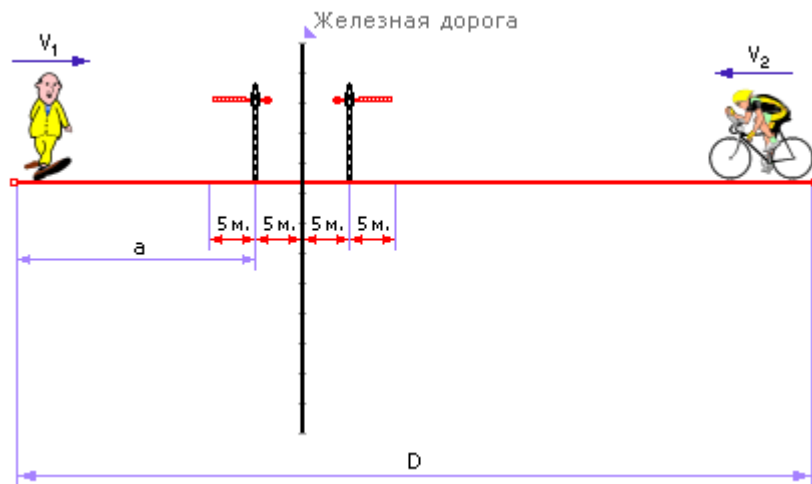


Рис. 1.23. Ілюстрація до ускладненої задачі про зустріч
 На мал. 1.24 представлена алгоритмічна схема задачі.

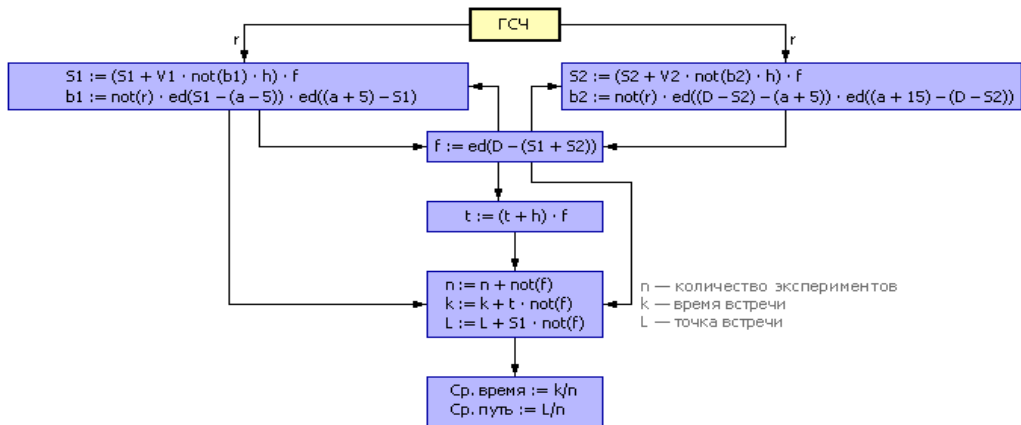


Рис. 1.24. Схема рішення задачі про зустріч (імітаційний статистичний спосіб)

Умови $b1$ й $b2$ контролюють, чи перебуває перший й/або другий об'єкт менш чим за 5 метрів від шлагбаума, коли той зачинений. $b1 = 1$ ($b2 = 1$) — це умова «не рухатися», якщо об'єкт перебуває в зоні шлагбаума й шлагбаум закритий; a — місце знаходження шлагбаума, відстань до шлагбаума від нуля; f — прапор зустрічі. Якщо $f = 0$, то зустріч відбулася й моделювання починається знову з $t = 0$,

$S1 = 0$, $S2 = 0$, а до статистичних лічильників необхідно додати підсумки експерименту — номер експерименту, час зустрічі, місце зустрічі.

Оскільки алгоритм використовує випадкові числа в якості вихідних даних, прийде зробити кілька експериментів і знайти середні значення вихідних величин. Результат одного експерименту випадковий і ні про що не говорить. Середнє значення більш інформативно. Ще більш інформативні відомості про перший і другий момент - середньому й розкиді значень довкола нього (дисперсії) і так далі.

Імітаційний критерійний спосіб

Цей спосіб — ще один крок до ускладнення моделі й наближенню її до реальних умов. Якщо у всіх попередніх випадках швидкість V була відома, то тепер вона — непередбачена, навіть статистично, що найчастіше й спостерігається в реальних умовах. Швидкість V об'єкта приймається з деяких додаткових моделей. Причому ці моделі можуть бути зі зворотними зв'язками. Наприклад, швидкість може залежати від обстановки, ступеня досягнення мети, плану, доцільності поведіння, знання місцевості, бажання рухатися (психологічний мотив). Така постановка веде до адаптивних систем і систем штучного інтелекту.

Наприклад, якщо об'єкт (пішохід) має можливість оглянути місцевість із оглядової вежі, то він може заздалегідь прорахувати свій шлях і потім впливати йому. Без оглядової вежі пішохід може зайти в безвихідний глухий кут або нескінченно довго перебирати варіанти шляху. Для адаптивних систем вводиться критерій для оцінки перспективності вибору напрямку руху.

Отже, підіб'ємо підсумок.

Модель - спосіб заміщення реального об'єкта, використовуваний для його дослідження, коли натуральний експеримент неможливий, доріг, небезпечний, довгостроковий.

Приклади. Оскільки дослідження Місяця небезпечно для людини, для цієї мети використають місяцехід як модель дослідника; оскільки реальні експерименти над економікою країни дороги по своїх наслідках, то використають математичні моделі економіки для вивчення наслідків керуючих рішень; оскільки процес обробки металів вибухом швидкоплинний у часі, те його вивчають на моделі в збільшеному масштабі часу, а процес корозії - у зменшеному; атом вивчається в збільшеному масштабі простору, а космогонічні процеси - у зменшеному масштабі простору; оскільки при проектуванні об'єкта його попросту не існує, то дослідження майбутніх властивостей об'єкта ведеться на моделі.

Модель несе системоутворюючу й змістоутворюючу роль у науковому пізнанні. На моделі вивчають невідомі властивості предметів. Модель прагне як можна більш яскраво виразити структуру явища, його головні аспекти. Модель є концентрованим вираженням сутності предмета або процесу, виділяючи тільки його основні риси.

Знання - це моделі навколишнього світу, фіксовані людиною в його мозку або на технічних носіях. Моделі мають підвищену наочність, виділяючи головні аспекти сутності, і активно використовуються в процесах пізнання й навчання. Людина, вирішуючи, як йому надійти в тій або іншій ситуації, завжди намагається уявити собі наслідку рішення, для цього він програє ситуацію, представляє неї собі подумки, строя модель у голові. Комп'ютер є підсилювачем для виробництва даної діяльності, інструментом інформаційної технології. Комп'ютерні моделі прискорюють процес дослідження, роблять його більше точним.

Алгоритми - знання, що вибудовують людиною (або, ширше, розумною істотою) у ланцюжок так, щоб з'єднати вихідний стан з бажаним, метою; це один з варіантів ряду заходів, кроків, що приводять до мети.

Таким чином, моделі - це основа розумної розумової діяльності; моделі відіграють роль базису, а моделювання - роль інструмента для прогнозування.

Процес моделювання складається із трьох стадій: формалізації (перехід від реального об'єкта до моделі), моделювання (дослідження й перетворення моделі), інтерпретації (переклад результатів моделювання в область реальності).

Модель є залежність F між входом X і виходом Y . Модель відбиває закономірність $Y = F(X)$. Часто модель є законом. Модель вірна в рамках допущених при її побудові гіпотез. Тому модель обмежена деякою областю й адекватна в ній.

Набір моделей утворить наукову дисципліну (механіка, фізика, гірнича справа й т.д.) Модель може бути розширена шляхом обліку в ній додаткових параметрів. Тоді область її застосування стає ширше.

Об'єкт може бути представлений у вигляді аналітичної або імітаційної моделі.

Аналітичне подання підходить лише для дуже простих і сильно ідеалізованих задач й об'єктів, які, як правило, мають мало загального з реальної (складної) дійсністю, але мають високу спільність. Аналітичні моделі звичайно застосовують для опису фундаментальних властивостей об'єктів (тому ними так широко користується теоретична фізика), тому що фундамент простий по своїй суті. Складні об'єкти рідко вдається описати аналітично.

Імітаційне моделювання дозволяє розкласти більшу модель на частині (об'єкти, «шматочки»), якими можна оперувати окремо, створюючи інших, більше прості або, навпаки, більше складні моделі. Таким чином, імітаційне моделювання тяжіє до об'єкто-орієнтованого подання, що природно описує об'єкти, їхній стан, поведіння, а також взаємодія між ними. Імітаційну модель можна поступово ускладнювати й ускладнювати; аналітичний спосіб цього не допускає або допускає, але з більшими обмеженнями.

Модель може бути з'єднана з іншими моделями. Математично це означає спільне рішення моделей (перетинання) і накладення тотожностей на зв'язувані змінні. При зв'язуванні моделі утворюють систему, що має певну структуру (вкладену, паралельну, послідовну, змішану, зі зворотними зв'язками й т.д.)

Якщо до побудованої моделі додати питання, то за допомогою неї можна вирішити задачу, одержати відповідь, що заздалегідь не очевидний. Якщо відповідь заздалегідь очевидна, то модель не будують. Звичайно та сама модель годиться для рішення множини задач. Вирішуючи задачі, людина звичайно будує моделі у своїй голові й поживає (інтерпретує) їх там же або на штучному носії (у середовищі моделювання).

Повторимо:

модель + питання + додаткові умови = задача.

У вигляді умов можуть бути будь-які додаткові вираження: рівності, присвоювання початкових даних, нерівності, мети, функціонали й т.д., що мають зміст обмежень, умов, додаткових зв'язків.

У вигляді питання може служити одна (або трохи) з невідомих змінних.

Задача до визначає вільні змінні моделі, звужує область можливих рішень.

Задачі, розв'язувані на моделі, діляться на прямі й зворотні. Прямі задачі по заданому X знаходять Y шляхом підстановки X у рівняння $Y = F(X)$. Звичайно такі задачі називають задачами аналізу. Зворотні задачі по заданому Y знаходять X шляхом знаходження зворотної функції F^{-1} і підстановки $X = F^{-1}(Y)$. Звичайно їх називають задачами синтезу. Якщо знайти зворотну функцію F^{-1} у явному виді важко, то становлять обчислювальні схеми для чисельного визначення X . Часто до цього виду приводяться задачі керування об'єктами.

Ще однією специфічною задачею є знаходження по заданим X й Y залежності F або її коефіцієнтів. Це задача побудови (або настроювання) моделі.

Роль моделі

Побудувавши модель, дослідник може:

- прогнозувати властивості й поведження об'єкта як усередині області, у якій побудована модель, так й (при обґрунтованому застосуванні) за її межами (прогнозуюча роль моделі);
- управляти об'єктом, відбираючи найкращі впливи шляхом випробування їх на моделі (керуюча роль);
- пізнавати явище або об'єкт, модель якого він побудував (пізнавальна роль моделі);
- одержувати навички по керуванню об'єктом шляхом використання моделі як тренажера або гри (навчальна роль);
- поліпшувати об'єкт, змінюючи модель і випробовуючи її (проектна роль).

Адекватність моделі

Оскільки модель є вираженням кінцевого ряду й тільки найважливіших для конкретного дослідження аспектів сутності, то вона не може бути абсолютно ідентичною модельованому об'єкту. Крім цього, реальний об'єкт нескінченний для пізнання. Тому нема рації прагнути до нескінченної точності при побудові моделі. Для з'ясування необхідного ступеня адекватності звичайно будують ряд моделей, починаючи із грубих, простих моделей і рухаючись до усе більше складним і точним. Як тільки витрати на побудову чергової моделі починають перевищувати плановану віддачу від моделі, то уточнення моделі припиняють. Первісні кроки виробляються в якому-небудь існуючому універсальному моделюючому пакеті. Після схвалення моделі під неї пишеться спеціалізований пакет. Необхідність у цьому виникає у випадку, якщо функціонування моделі в універсальному середовищі моделювання не задовольняє вимогам швидкодії (або якимсь іншим).

У задачі даного курсу входить вивчення прийомів і способів, необхідних для формалізації, вивчення й інтерпретації систем.

Моделювання - прикладна інженерна наука класу технологічних. Моделювання - дисципліна, що ставить метою побудова моделей й їхнє дослідження за допомогою власних універсальних методів, а також специфічних методів суміжних з нею наук (математика, дослідження операцій, програмування).