

## ПАРАДИГМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В.М. Томашевський

*Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»*

Моделювання як одну з найважливіших категорій процесу пізнання неможливо відокремити від розвитку людства. Сфера його застосування охоплює всі області діяльності людства та природні явища. Людина використовує моделі, що дають можливість «програвати» будь-які життєві та виробничі ситуації й отримувати такі рішення, що дозволяють знайти найкращий спосіб вирішення проблеми. У таких випадках є можливість аналізувати за допомогою моделі будь-які ситуації, включаючи ті, за яких реальна система вийшла б із ладу. Це дозволяє моделювати катастрофи, рідкісні випадки, та навіть такі явища і процеси, яких не існує насправді, тобто віртуальну реальність.

Моделювання тісно пов'язане з аналізом будь-яких систем і є його складовою. Основне призначення моделювання – прийняття рішень за допомогою моделей. Найширшим класом моделей є математичні моделі, а найрозповсюдженим методом – комп'ютерне моделювання, популярним різновидом якого є імітаційне моделювання. Переваги імітаційного моделювання зв'язані з можливістю його застосування для будь-яких динамічних систем в умовах невизначеності з врахуванням тих факторів, які важко формалізувати. Зазвичай імітаційна модель відображає структуру модельованої системи та подається у вигляді сукупності алгоритмів або рівнянь, які описують процес функціонування системи. З точки зору розуміння засобів побудови імітаційної моделі важливим поняттям є парадигма імітаційного моделювання.

Моделювання як одну з найважливіших категорій процесу пізнання неможливо відокремити від розвитку людства. Сфера його застосування охоплює всі області діяльності людства та природні явища. Людина використовує моделі, що дають можливість «програвати» будь-які життєві та виробничі ситуації й отримувати такі рішення, що дозволяють знайти найкращий спосіб вирішення проблеми. У таких випадках є можливість аналізувати за допомогою моделі будь-які ситуації, включаючи ті, за яких реальна система вийшла б із ладу. Це дозволяє моделювати катастрофи, рідкісні випадки, та навіть такі явища і процеси, яких не існує насправді, тобто віртуальну реальність.

Моделювання тісно пов'язане з аналізом будь-яких систем і є його складовою. Основне призначення моделювання – прийняття рішень за

допомогою моделей. Найширшим класом моделей є математичні моделі, а найрозповсюдженим методом – комп'ютерне моделювання, популярним різновидом якого є імітаційне моделювання. Переваги імітаційного моделювання зв'язані з можливістю його застосування для будь-яких динамічних систем в умовах невизначеності з врахуванням тих факторів, які важко формалізувати. Зазвичай імітаційна модель відображає структуру модельованої системи та подається у вигляді сукупності алгоритмів або рівнянь, які описують процес функціонування системи. З точки зору розуміння засобів побудови імітаційної моделі важливим поняттям є парадигма імітаційного моделювання.

Парадигма (з грецької – «приклад», «взірець») – у загальному значенні це теоретико-методологічна модель, яка включає систему ідей і понять, що визначають концепцію створення імітаційних моделей. Для того, щоб визначити парадигму побудови імітаційної систем потрібно розглянути внутрішній механізм її реалізації, який стосується завдання внутрісистемного модельного часу, логіко-математичної схеми алгоритму імітації та структурної організації моделі.

Традиційно динамічні системи, а також їх моделі, поділяють на неперервні, дискретні та комбіновані. Для моделювання неперервних динамічних систем використовують блочні методи побудови моделей, які застосовуються для аналогового моделювання, і відтворюють роботу аналогових і гібридних ЕОМ, тобто елементами таких засобів моделювання є блоки суматори, інтегратори, підсилювачі. Аналогові мови моделювання успадкували аналогові блок-схеми. Такий підхід і зараз є базовим, але апаратні блоки замінюються програмними (інструментальна середовище Simulink), а моделі розв'язують прямим інтегруванням або засобами систем імітаційного моделювання. Блоки виконують математичні обчислення та з'єднуються між собою, передають один одному значення змінних від входів одних блоків до виходів інших. Таким чином, блок-орієнтовані мови моделювання скоріше відображають засоби розрахунків ніж саму структуру модельованої системи.

Останнім часом широко впроваджені мови моделювання, які базуються на рівняннях, і не потребують опису алгоритмів розв'язку цих рівнянь. Це завдання виконує компілятор мови моделювання. Однією з широко застосованих мов моделювання такого типу є Modelica (<https://www.modelica.org/>) – об'єктно-орієнтована, декларативна, мультидоменна мова моделювання для компонентно-орієнтованого моделювання складних систем, які містять механічні, електричні, електронні, гідравлічні, теплові та інші компоненти. На сьогодні цю мову використовують багато великих підприємств, таких як Siemens, ABB и EDF, AUDI, MBW, Daimler, Ford, Toyota, VW та інші.

Для формального представлення моделей неперервних систем Дж. Форестер запропонував підхід, названий системною динамікою, який дає змогу будувати моделі динамічних взаємопов'язаних систем за допомогою причинних діаграм циклів і схем виду «фонд – потік». Модель базується на системі диференціально-різницевих рівнянь, звичайно це рівняння Ланкастера, розв'язання яких у замкненому виді виконується числовим методом на деякому проміжку часу, що дає змогу моделювати зміни фондів і потоків пов'язаних між собою через змінні.

Візуальна графічна модель будується за допомогою ідеограм, а програмний код будується автоматично. Програмні інструменти, що використовують ідеографічні нотації вважаються засобами візуального мислення. До них відносяться Stella і iThink, Powersim, Vensim, Modus та ін. Практично всі ці засоби будуються на базі мови DYNAMO. Сучасні системи неперервного моделювання розширені засобами моделювання випадкових функцій та логічними виразами, мають можливість задавати залежності в графічному та табличному виглядах, взаємодіють з базами даних і таблицями Excel. У більшості випадків такі пакети моделюють не тільки неперервні системи, а й неперервно-дискретні, включаючи можливості створення черг, конвеєрів і пристроїв.

Дискретно-подійні моделі є найбільш розповсюдженим класом імітаційних моделей, які охоплюють системи масового обслуговування, транспортні, інформаційні, логістичні, медичні, ремонтні системи, збиральне виробництво та багато інших систем і процесів. Усі вони побудовані на концепції просування модельного часу від події до події, тобто в моменти часу, коли змінюються властивості модельованого процесу. В книзі [1] розглядаються три основних підходи, які дозволяють будувати моделюючі алгоритми для дискретно-подійних систем: орієнтовані на події, види діяльності та процеси. Імітаційні мови і системи орієнтовані на процеси є найбільш універсальними і дозволяють створювати об'єктно-орієнтовані засоби імітаційного моделювання, серед яких необхідно виділити середовище візуального моделювання VSE, яке відтворює концепцію «Що бачу на екрані, то і отримаю під час моделювання» з автоматичним створенням коду імітаційної програми. Для усіх імітаційних систем орієнтованих на процеси характерно присутність динамічних об'єктів (повідомлень, транзактів), які рухаються по моделі за визначеною схемою та у міру свого просування «споживають» деякі ресурси. Структура програмної реалізації імітаційної моделі, як правило, співпадає зі структурою об'єкта моделювання.

Клас засобів моделювання орієнтованих на процеси значний, серед яких потрібно виділити пакети орієнтовані на моделювання виробництва, такі як FlexSim (<https://www.flexsim.com/flexsim/whats-new/>),

останнє оновлення, якого зроблено у 2019 р., та Arena (<https://www.arenasimulation.com/>). Цей пакет широко використовується великими світовими корпораціями PWC, Federal Express, Nike під час моделювання бізнес-процесів і дозволяє будувати імітаційні моделі по діаграмах створених за допомогою BPwin.

Агентне моделювання (agent-based model) – метод імітаційного моделювання, який досліджує поведінку децентралізованих агентів і те, як така поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому. Під агентом розуміється деяка сутність, яка володіє активністю, автономною поведінкою, може приймати рішення за певним набором правил, може взаємодіяти з оточенням та іншими агентами, а також може змінюватися (еволюціонувати). Багатоагентні моделі використовуються для дослідження динаміки колективної поведінки (суспільства, колоній, популяцій і т. ін.) і можуть включати десятки і сотні тисяч активних агентів. Агентний підхід дозволяє отримати інформацію про загальні глобальні закони досліджуваної моделі, що базуються на активності її складових елементів, тобто використовується індуктивний підхід створення моделей.

Зручним середовищем створення багатоагентних моделей є імітаційна система AnyLogic, яка для формалізації поведінки агентів у системі використовує діаграму станів (State Chart). Для створення моделей у більшості випадків використовується графічний редактор, в якому користувач описує всі складові моделі. Поведінка окремих елементів моделі описується об'єктно-орієнтованою мовою програмування Java. Існує багато прикладів моделей різноманітних логістичних мереж та транспортних систем, систем керування різними бізнес-процесами та бібліотека готових модулів і розроблених моделей.

З агентним підходом тісно пов'язане ситуаційне моделювання, яке описує множину ситуацій та множину правил (алгоритмів), за якими агент визначають процес, що повинен виконуватися. Для цього можуть використовуватися таблиці та дерева рішень. У більш складних випадках при використанні бази знань можуть застосовуються моделі штучного інтелекту.

### **Література**

1. Томашевський В.М., Моделювання систем. – К.: Видавнича група BHV, 2005, – 352 с.