

нює побудову моделей, що можна узагальнити. Виходячи з цього, задачу можна звести до виділення основних параметрів (характеристик).

### **Література**

1. Лаврищева Е. М. Методы и средства инженерии программного обеспечения / Е. М. Лаврищева, В. А. Петрухин – Учебник Московский физико-технический институт (государственный университет), 2006 – 304 с.
2. Goel A. L. Software reliability models: Assumptions, Limitations and Applicability / A. L. Goel // IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. SE-11, № 12. – 1985. – P. 1411-1423.
3. Полонников Р. И. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения / Р. И. Полонников, А. В. Никандров. – СПб.: Политехника – 1992. – 78 с.
4. Фатуев В. П. Надежность автоматизированных информационных систем: Учебное пособие // В. П. Фатуев, В. И. Высоцкий, В. И. Бушинский – Т.: ТГУ, 1998. – 104 с.
5. Haag S. Quality Function Deployment. Usage in Software Development / S. Haag, H.K. Raja, L.L. Sekade // Comm. of ACM.– 2002. –39. –N1.
6. Стандартизация разработки программных средств: Учеб. пособие / В. А. Благодатских, В. А. Волнин, К. Ф. Посакалов; Под ред. О. С. Разумова. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 288 с.
7. Kharchenko V. S. The Method of Software Reliability Growth Models Choice Using Assumptions Matrix / V. S. Kharchenko, O. M. Tarasyuk, V.V. Sklyar et al. // Proc. of 26th Annual Int. Computer Software and Applications Conference (COMPSAC). – Oxford, England, 2002. – P. 541-546.
8. Pizzi N. J. Effective Classification Using Feature Selection and Fuzzy Integration / N. J. Pizzi, W. Pedrycz // Fuzzy Sets and Systems. – 2008. – № 21 – P. 2859-2872.
9. Pizzi N. J. Mapping Software Metrics to Module Complexity: A Pattern Classification Approach / N. J. Pizzi // Journal of Software Engineering and Applications. – 2011. – № 4 – P. 426-432.
10. Garg R. P. Performance Analysis of Software Reliability Models using Matrix Method / R. P. Garg, K. Sharma, R. Kumar, R. K. Garg // International Journal of Computer, Information, Systems and Control Engineering. – 2010. – № 11 – P. 31-38.

УДК 004

## **ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Н.О. Рудь

*Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», Україна*

Економічні системи - це складні системи з великою кількістю зворотних зв'язків. Побудова імітаційних моделей таких систем, як правило, є непростим завданням, оскільки кількість змінних дуже велика,

а зв'язки між ними неочевидні. Для побудови моделей складних систем з численними зворотними зв'язками Дж. Форестер запропонував метод системної динаміки [4].

Основа побудови імітаційної моделі відповідно до цього підходу - визначення всіх петель позитивного і негативного зворотного зв'язку, опис їх взаємодій, побудова потокових діаграм за допомогою інструментальних засобів імітаційного моделювання. Детальніше розглянемо специфіку інструментальних засобів імітаційного моделювання.

Існує два напрями їх розвитку[3]. Перше з них представляють мови імітаційного моделювання. Ці мови в порівнянні з універсальними мовами програмування знижують трудомісткість написання моделюють програм, включають спеціалізовані процедури, які можуть застосовуватися в будь-якій імітаційній моделі, і відрізняються точністю вираження понять, які характеризують імітовані процеси, і автоматичним формуванням певних типів даних, необхідних у процесі імітаційного моделювання.

Алгоритмічні мови при моделюванні систем служать допоміжним апаратом розробки, машинної реалізації та аналізу характеристик моделей. Обравши для вирішення задачі моделювання процесу функціонування системи конкретну мову, дослідник отримує в розпорядження ретельно розроблену систему абстракцій, що надають йому основу для формалізації процесу функціонування досліджуваної системи.

Високий рівень проблемної орієнтації мови моделювання значно спрощує програмування моделей, а спеціально передбачені в ньому можливості збору, обробки і виведення результатів моделювання дозволяють швидко і детально аналізувати можливі результати імітаційного експерименту з моделлю ІМ.

Якість мов імітаційного моделювання характеризується:

- зручністю опису процесу функціонування системи S;
- зручністю введення вихідних даних моделювання та варіювання структури, алгоритмів і параметрів моделі;
- ефективністю аналізу та виведення результатів моделювання;
- простотою налагодження і контролю роботи програми, що моделює;
- доступністю сприйняття і використання мови.

Мова програмування являє собою набір символів, розпізнаваних ЕОМ і позначають операції, які можна реалізувати на ЕОМ. Машинно-орієнтовані мови (машинні коди, асемблер) завжди відображають специфіку конкретної ЕОМ і, отже, мають сенс тільки в тій ЕОМ, для якої вони призначені, описують елементарні дії ЕОМ, що не володіють проблемної орієнтацією.

Процедурно-орієнтовані мови не пов'язані ні з якою ЕОМ і призначені для певного класу задач, включають в себе інструкції, зручні для формулювання способи вирішення типових задач цього класу.

Мова моделювання являє собою процедурно-орієнтовану мову, що володіє специфічними рисами.

Перевагами мов імітаційного моделювання (МІМ) порівняно з універсальними мовами загального призначення (МЗП) наступні:

1) мова моделювання містить абстрактні конструкції, що безпосередньо відбивають поняття, в яких представлена формалізована модель, і близькі концептуальному рівню опису модельованої системи. Це спрощує програмування імітатора, дозволяє автоматизувати виявлення багатьох помилок в програмах;

2) мови моделювання мають ефективний вбудований механізм просування модельного часу (календар подій, методи інтегрування та ін.), засоби дозволу тимчасових вузлів.

3) мови моделювання, як правило, містять вбудовані датчики випадкових чисел, генератори інших типових впливів;

4) у мовах моделювання автоматизований збір стандартної статистики та інших результатів моделювання, являють собою засоби автоматизації видачі цих результатів у табличній або графічній формі;

5) мови моделювання мають засоби, що спрощують програмування імітаційних експериментів, зокрема, автоматизують установку початкового стану і перезапуск моделі.

Недоліки мов імітаційного моделювання:

1) використовуються тільки стандартні форми виводу результатів моделювання;

2) недостатня поширеність мов моделювання, які, як правило, не входять до штатного програмного забезпечення операційних систем;

3) необхідність додаткового навчання мовам моделювання і, як наслідок, брак програмістів, які добре володіють мовами моделювання;

4) відсутність гнучкості і широких можливостей, властивих універсальним мов програмування.

Другим напрямком розвитку інструментальних засобів імітаційного моделювання є вузькоспеціалізовані програмні комплекси моделювання. Перевагами таких комплексів є швидка реалізація моделі, використання термінології, зрозумілої досліднику, дозволяють швидко відповісти на питання типу «а що, якщо ...».

Інструментальна підтримка реалізована у ряді середовищ візуального моделювання: Vensim, Powersim, Ithink, AnyLogic. Всі перераховані системи надають можливість для візуальної побудови моделей і проведення імітаційного експерименту. Наявність інтегрованого сере-

довища з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом у згаданих системах дозволяє зосередитися безпосередньо на побудові моделі, не відволікаючись на деталі реалізації імітаційного експерименту та візуалізації його результатів.

Оскільки економічні системи, що вивчаються з позицій системної динаміки, - це динамічні системи, то математичні моделі таких систем - це системи диференціальних рівнянь. Природно, для побудови й аналізу моделей таких систем можна використовувати MATLAB / Simulink, MathCAD або інші універсальні системи. Такий підхід часто пропонується фахівцями, які отримали математичну або технічну освіту. Але, як показує практика, економістам ці системи здаються складними.

Використання систем Vensim, Powersim, Ithink, AnyLogic є кращим. Ці програми спочатку орієнтовані на моделювання економічних і соціальних систем, в них підтримується нотація взаємодіючих фондових потоків.

Системна динаміка - лише один з підходів, що використовуються в імітаційному моделюванні. Системна динаміка використовує високий рівень агрегування і абстракції, велику увагу в рамках даного підходу приділяється виділенню причинно-наслідкових зв'язків і їх наочному уявленню.

Не випадково в провідних бізнес-школах США слухачам пропонуються курси системної динаміки. Моделі системної динаміки успішно застосовуються в сучасній економічній теорії і практиці: в стратегічному менеджменті та оптимізації бізнес-процесів, в дослідженні причин виникнення бізнес-циклів, для аналізу макроекономічних процесів[2].

На інструментальні засоби автоматизованого проектування покладаються різноманітні функції дослідження гнучких алгоритмів програмування рухів маніпулятора і адаптивних законів керування приводами імітаційне моделювання перехідних процесів аналіз якості управління, тощо.

Програмне забезпечення багатоцільових інструментальних комплексів складається з двох компонент універсальної та спеціалізованої. Універсальна компонента, що включає операційну систему реального часу, надає розробнику різні засоби автоматизованого проектування. До них відносяться інтерпретатори, редактори, завантажувачі, тощо.

Спеціалізована компонента будується на базі універсальної і є проблемно-орієнтованою. Вона містить програмні засоби для імітаційного моделювання систем управління.

Найбільш ефективними є діалогові людино-машинні системи автоматизованого проектування, що включають банки моделей, банки даних, пакети програм оптимізації та засоби діалогу і спрямованого імітаційного моделювання. Такі системи дозволяють отримувати прийнятну точність рішення за порівняно невелике число ітерацій в результаті вдалого управління параметрами моделі і алгоритмів в процесі обчислень.

Інструментальні системи математичного моделювання повинні бути такими, щоб задовольнялися основні вимоги до розроблених з їх допомогою математичних моделей адекватності, точності, універсальності і ефективності.

Підвищення точності та адекватності можливо лише при одночасному зниженні ефективності та зменшенні універсальності. Саме тому функціональні об'єктно-орієнтовані і проблемно-орієнтовані інструментальні засоби імітаційного моделювання, що підтримують одну і ту ж систему дискретних імітаційних моделей, представлені двома різними реалізаціями.

Таким чином, до переваг методів імітаційного моделювання слід віднести їх об'єктивність, наявність внутрішніх засобів для контролю точності (адекватності) моделей, можливість всебічного дослідження проблем ефективності АСУ як в статичних, так і динамічних умовах.

Розробка інформаційної структури системи управління АСУ і розподіл інформаційних потоків у часі також можуть бути вирішені за допомогою імітаційного моделювання на основі уточненої структури зв'язків між різними рівнями і окремими елементами АСУ і стандартизованих протоколів обміну інформацією між ними з урахуванням змінного потоку оброблених заготовок на вході в систему.

## **Література**

1. Борщев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro, N 3-4, 2014.
2. Bouchaud J. Economics needs a scientific revolution // Nature. 2008. V. 455. P. 1181.
3. Sterman J. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw Hill. 2010.
4. Forrester J. Industrial Dynamics. Cambridge, MA: MIT Press. 1961.