

ANYLOGIC – УНІВЕРСАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

З.Н. Соколовська, д.е.н., професор

Одеський національний політехнічний університет

Процеси функціонування економічних систем, зазвичай, носять стохастичний характер. Тому їх дослідження пов'язано з прийняттям рішень в умовах ризику та невизначеності.

Розробка математичних моделей реальних об'єктів стикається з необхідністю врахування динамічного характеру їх розвитку, багатьох зворотних зв'язків, нелінійністю. В процесі аналітичного рішення часто неможливо отримання однозначного рішення завдяки нестачі відповідних рівнянь або наявності рекурсивності формул. Водночас, в багатьох ситуаціях достатньо надання чисельного рішення та візуального представлення результатів на базі проведення серії чисельних експериментів. Таким вимогам відповідає метод імітаційного моделювання.

За допомогою імітаційного моделювання можливо розв'язання різноманітних задач – від дослідження поведінки систем до пошуку оптимального рішення. Експерти галузі стверджують, що не має проблеми, яку не можна б було вирішити за допомогою імітаційного моделювання.

Проблемам імітаційного моделювання економічних систем присвячено значне коло літературних джерел [1-3]. Однак, розвиток цього математичного напрямку диктує проведення нових досліджень з удосконалення засобів постановки та реалізації моделей й планування імітаційних експериментів.

Сьогодні процес моделювання значно полегшується за рахунок систем моделювання, які надають користувачам потужний математичний інструментарій та зручний інтерфейс. Програмне забезпечення імітаційного моделювання економічних систем умовно класифікується фахівцями за чотирима групами [4]:

1. Інтегровані програмні середовища та окремі універсальні мови програмування високого рівня (Pascal, Basic, C, C++ та ін.). В ході їх використання будується алгоритмічна модель, а потім алгоритм кодується засобами стандартного синтаксису обраної мови програмування.

2. Спеціалізовані мови моделювання (GPSS, SIMULA, SIMSCRIPT, CSL, SOL, GASP, SLAM та ін.), що базуються на універсальних мовах програмування. В межах таких програмних середовищ реалізовані способи взаємодії та динаміка систем через співвідношення складових елементів у часі та просторі. В ході побудови моделі використовуються терміни та концепції конкретної спеціальної мови. Програмне забезпечення, зазвичай, компактне та має на сьогодні значні прикладні додатки.

3. Стандартні спеціалізовані математичні середовища з включенням пакету імітаційного моделювання (пакет Simulink системи Matlab, Mathcad, Mathematica, SPSS, Statistica). У цій конфігурації інструмент імітаційного моделювання виступає як окрема надбудова та надається користувачам, як інсталяційний пакет, що розвиває стандартні функції. Така специфічна надбудова надає можливості вводу, виводу та розрахунку функцій, графічні можливості тощо.

4. Спеціалізовані програмні середовища з включенням усього циклу створення імітаційної моделі від розробки візуальної схеми функціонування до візуального виводу процесу й результатів моделювання (AnyLogic, Arena, GPSS World, VisSim). Такі системи мають дружній інтерфейс стосовно користувача, можливості вводу численних параметрів настройки та керування експериментами, можливості отримання оптимальних значень цільових критеріїв, проведення різних типів імітаційних експериментів й ін.

Однією з найбільш ефективних програмних платформ створення моделі та проведення імітаційних експериментів є сьогодні система AnyLogic.

Метою роботи є визначення можливостей застосування системи AnyLogic в процесі моделювання різних типів економічних систем.

AnyLogic спирається на парадигму об'єктно-орієнтованого моделювання, до того ж об'єкти системи активні та взаємодіють із зовнішніми сутностями. Система передбачає реалізацію трьох головних сучасних методологічних підходів до імітації – дискретно-подієвого, системної динаміки та агентного. Окрім цього, реалізує змішану парадигму – багатопідходне імітаційне моделювання. За підвищенням рівня абстракції підходи розподіляються наступним чином:

- Дискретно-подієве (Discrete Event Modeling).
- Агентне (Agent Based).
- Системна динаміка (System Dynamics).

Система AnyLogic використовує мову об'єктно-орієнтованого програмування Java. Java-платформа надає значні можливості розширення моделей, що розробляються. Модель AnyLogic може використовуватися також як окремий Java-додаток незалежно від середовища розробки.

Графічний інтерфейс AnyLogic, інструменти та бібліотеки дають можливість швидко реалізовувати моделі для широкого спектру задач – від моделювання виробництва, логістики, бізнес-процесів до стратегічних моделей розвитку ринку та компаній. Гнучкість та потужність мови моделювання AnyLogic дозволяє врахувати будь-який аспект системи, що моделюється, з будь-яким рівнем деталізації. У інтегрованій системі AnyLogic існує значна бібліотека готових модулів та розроблених моделей.

В галузі економіки не зовсім адекватні моделі сталих «рівноважних» режимів. Більш адекватним є аналіз моделей, які дозволяють виконати аналіз формування правил та тенденцій глобальної поведінки, як інтегральних

характеристик поведінки багатьох активних гравців. Це повністю відповідає концепціям, реалізованим в середовищі AnyLogic.

Вибір конкретної парадигми моделювання на платформі AnyLogic або змішаної – багатопідходної – парадигми залежить у кожному конкретному випадку від специфіки об'єкту дослідження, цілей дослідників, ступеня агрегації системи залежно від поставленої мети.

Прикладне використання системи можливе на різних рівнях управління економікою, тобто для систем макро-, мезо- та макрорівня. На сьогодні існує безліч прикладних додатків застосування системи – від моделей функціонування підприємств (структурних підрозділів підприємств) до моделей, що стосуються економічної та політичної безпеки країн [5-6]. Одним з найбільш розповсюджених класів імітаційних моделей, що реалізовані по всьому світу на платформі AnyLogic, є моделі різноманітних логістичних мереж та транспортних систем [7]. Значні позитивні результати отримані у сфері бізнес- та управлінських систем; в оперативному та стратегічному управлінні підприємствами, виробництвом, ланцюгами поставок [8-11].

Поряд з більш традиційними напрямками використання інструментарію AnyLogic у останні часи з'являються достатньо оригінальні додатки у межах нових напрямків досліджень економічних систем та процесів – наприклад, в межах поведінкової та інформаційної економіки.

Прогнозування поведінки користувачів різних продуктів та послуг достатньо обґрунтовано досліджуються на базі комплексу моделей, висвітлених у [12]. Моделі дістали промислового впровадження на різних об'єктах. Зокрема, цікавим здається порівняльний аналіз результатів імітаційних експериментів, проведений для однотипних об'єктів але на рівні різних адміністративно-територіальних одиниць та для різних соціальних верств населення.

На підставі концепції моделювання еволюційних процесів в інформаційній економіці в роботі [13] представлено розроблену мультиагентну модель еволюції популяції економічних агентів. До переваг проведеного дослідження слід віднести результати аналізу чутливості еволюційного процесу до варіації параметрів розміру популяції, негативного та позитивного відбору, цінкових факторів, що дозволило авторові описати еволюційні режими системи, які відрізняються характером динаміки популяції.

Наведені приклади свідчать, що використання середовища AnyLogic корисно в ситуаціях з великою кількістю елементів зі складними зв'язками між ними, а також з непередбачуваним розвитком подій.

Імітаційні експерименти на моделях, створених на даній платформі, надають дослідникам економічних систем наступні можливості:

– Імітацію різних сценаріїв розвитку подій з пошуком найбільш ефективного (оптимального) рішення для уніфікації складних бізнес-систем будь-якого типу.

– Функціонування складних бізнес-систем може бути представлено у вигляді наглядних процесів змін станів елементів системи та їх зв'язків. Завдяки цьому відтворюється поведінка складної системи будь-якого типу для оперативного аналізу ситуацій та прийняття рішень.

– Порівняння реальних процесів з їх модельним представленням з метою виявлення причин та джерел порушення нормального функціонування бізнес-систем.

– Створення моделей-тренажерів для колективного використання багатьма користувачами для визначення скоординованих управлінських рішень з наступним аналізом їх наслідків.

Згідно з наведеним, спектр прикладних використань середовища AnyLogic є дуже розгорнутим, інструментарій побудови та реалізації моделей – потужним й гнучким. За думкою керівника групи розробників системи AnyLogic, у недалекому майбутньому ринок програмних інструментів імітаційного моделювання стане поділеним між наступними продуктами [14]:

- AnyLogic
- FlexSim
- Simio
- Simul8

Перспективами подальших досліджень в галузі імітаційного моделювання економічних систем на платформі AnyLogic можна вважати створення потужних оптимізаційних продуктів, заснованих на імітаційному моделюванні та максимально спрямованих на конкретні комплекси задач. Майбутнє також за спеціалізованими аналітичними платформами для підтримки прийняття рішень з вбудованими імітаційними компонентами [15-18].

Література

1. Борщев А.В. Как построить простые, красивые и полезные модели сложных систем // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2013. – [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-immmod-2013.html>.
2. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное имитационное моделирование больших систем. – М.: МГУПБ, 2015. – 238 с.
3. Лычкина Н. Н. Динамическое имитационное моделирование развития социально-экономических систем и его применение в информационно-аналитических решениях для стратегического управления. – Стратегии бизнеса. – 2013. – №2(2). – С. 44-49. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.strategybusiness.ru/jour/article/view/40/35>.
4. Назаров А.А. Характеристика современных инструментов для имитационного моделирования при исследовании механизмов управления социально-экономическими процессами и системами // Имитационное

- моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2017. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-articles-2017.html>.
5. Песиков Э.Б., Дорогин А.В. Комплекс мультиагентных моделей анализа и управления рисками виртуального предприятия // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2013. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-immod-2013.html>.
 6. Толуев Ю.И. Задачи имитационного моделирования при реализации концепции Индустрия 4.0 в сфере производства и логистики. // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2017. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-articles-2017.html>.
 7. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В., Шебеко Ю.А. Имитация сложных систем и логистический реинжиниринг. // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2013. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-immod-2013.html>.
 8. Андронов С.А. Применение имитационного моделирования для планирования доставки в срок. // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2013. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-immod-2013.html>
 9. Егоров С.Г. Инструмент аналитики цепей поставок ANYLOGISTIX: совмещение аналитической оптимизации и имитационного моделирования // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2017. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-articles-2017.html>.
 10. Егоров С.Г. Анализ, дизайн и оптимизация цепей поставок в программном обеспечении anyLogistix // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2017. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-articles-2017.html>.
 11. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование стратегического развития социально-экономических систем: поиск эффективных модельных конструкций // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2015. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-articles-2015.html>.
 12. Каталевский Д.Ю. Солодов В.В., Кравченко К.К. Моделирование поведения потребителей. – Искусственные общества. – Т.7, №1-4. – 2012. – с. 34-43
 13. Кононова Е.Ю., Ковпак Э.А., Сухомлин П.В. Мультиагентная модель экономической эволюции: анализ чувствительности траекторий / Е.Ю. Кононова Э.А., Ковпак П.В., Сухомлин // Бизнес інформ. – 2015. – № 4. – с. 105-112.
-

14. Борщев А.В. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы конф. ИММОД-2015. – [электр. ресурс]. Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-articles-2015.html>.
15. [электр. ресурс]. Режим доступа: www.gereports.com/post/114774680705/personalized-production-the-brilliant-factory.
16. [электр. ресурс]. Режим доступа: en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Internet.
17. Соколовська З.М., Клепікова О.А. Прикладні моделі системної динаміки: [монографія] / З.М. Соколовська, О.А. Клепікова. – Одеса: Астропринт, 2015. – 308 с.
18. Соколовська З.М. Імітаційне моделювання бізнес-процесів складних економічних систем/ З.М. Соколовська. – Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса. 2011. – Вип. 3(37). – С. 135-141.
19. Модель підготовки фахівців-економістів при переході між освітньо-кваліфікаційним рівнем освіти. [Електронний ресурс] / Т.В. Філатова // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2014. – № 2 (12). – С. 197-202. – Режим доступу до журн.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2014/n2.html>.
20. Балан А.С. Концептуальна адаптивна модель інформаційно-аналітичної системи прийняття інвестиційних рішень / О.С. Балан // Економічні інновації : Зб. научн. пр. – Одеса, 2013. – Вип. 52. – С. 30-35.
21. Балан О.С. Науково-методичний підхід до формування інформаційно-аналітичного забезпечення процесу прийняття інвестиційних рішень на підприємствах виробничої сфери / О.С. Балан // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Економічні науки». – 2014. – № 6, (68). – С. 48-57.
22. ИЮ Ивченко Особенности моделирования предприятия как сложной экономической системы [Електронний ресурс] / Ивченко И.Ю., Ноздрачова М.А. // . – Одеса, 2013. – ВКМ Ивченко, Ирина Юрьевна Економіка: реалії часу. Науковий журнал, С. 190-196. 2.
23. И.Ю. Ивченко Апробация имитационно-оптимизационного подхода на примере задачи синхронизации инвестиционной и производственной деятельности предприятия ИЮ Ивченко Науковий журнал «Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Економіка, С. 246-251.