

УДК 330.4

М.І. Манілич

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ ТА ОСВІТІ

Стаття розкриває проблеми моделювання в економіці за допомогою постановки моделей програмним забезпеченням AnyLogic. Забезпечує економічний процес відтворення проблеми в інформаційній системі без витрат на додаткове обладнання для прийняття правильного рішення аналітиків та економістів. Загальних математичних формул, що описують поведінку складних еволюційних систем, як МО, в цілому, не знайдено. Розвиток таких систем може бути ефективно спрогнозовано шляхом комп'ютерної імітації процесу еволюції. В основу пропонованої технології моделювання покладена мультиагентна імітаційна модель, застосування якої дає можливість оцінки управлінських рішень і впливів зовнішнього середовища, у тому числі негативних, як на окремих суб'єктах економіки, так і на макропоказники в цілому.

The article reveals the problem of modeling the economy by means of setting models software AnyLogic. Provides economical process reproduction problems in the information system without the cost of additional equipment to make the right decision analysts and economists. General mathematical formulas that describe the behavior of complex evolutionary systems as municipal education, as a whole, were not found. The development of such systems can be effectively predicted by computer simulation of the evolution. The basis of the proposed multi-agent simulation technology laid simulation model, the use of which enables assessment of management decisions and environmental effects, including negative, as the individual subjects of the economy and the macroeconomic indicators in general.

The technology of modeling social and economic dynamics based on multi-agent approach can serve as a tool for comprehensive analysis and forecast of the situation. The application of multi-agent system simulation modeling is appropriate because many of the tasks of forecasting and analysis of management options can be solved only if a detailed description of the specific behavior of economic agents, achieved within agent-based modeling.

Ключові слова: управлінські рішення, освіта, економіка, інформаційні технології, математичні моделі.

Keywords: management decisions, education, economics, information technology, mathematical models.

Необхідність прийняття великої кількості управлінських рішень адміністрацією муніципальної освіти (МО), спрямованих на розвиток і модернізацію міської інфраструктури, робить актуальним використання автоматизованих систем підтримки прийняття рішень (СППР). СППР на основі імітаційної мультиагентної моделі МО здатна стати інструментом комплексного аналізу і прогнозу розвитку ситуації в місті, дозволяючи оцінити можливі ризики реалізації тих чи інших проектів, їх взаємний вплив і вплив на якість життя громади.

Загальних математичних формул, що описують поведінку таких складних еволюційних систем, як МО, в цілому, не знайдено. Розвиток таких систем може бути ефективно спрогнозовано шляхом комп'ютерної імітації процесу еволюції.

Існуючі на сьогодні розробки в цій галузі найчастіше є вузькоспрямованими, заснованими на моделях зміни агрегованих параметрів, і націлені, як правило, на

прогнозування макроекономічних показників. Прикладами є системи «Прогноз» (ЗАТ «Прогноз», Д.Л. Андріанов), «АІС-Регіон» (компанія «Волгоінформсет», д.е.н. В.А. Цибатов), СИРЕНА (Інститут економіки СО РАН, А.Г. Гранберг, С.А. Суспіцин). Реалізовані в даних системах моделі походять від системної динаміки Дж. Форрестера і повністю або частково виключають можливість персоніфікації суб'єктів економіки [7; 8; 9; 10; 11].

Значну зацікавленість для вирішення цього завдання становить дослідження можливості застосування агентної парадигми моделюванню розвитку МО з метою отримання загальної картини. Біля витоків мультиагентного підходу лежать методи експертного, імітаційного та ситуаційного моделювання. Істотний внесок у розвиток даного напрямку в нашій країні зробили Карпов Ю.Г., Попов Е.В., Поспелов Д.А. [7; 8].

В основу пропонованої технології моделювання покладена мультиагентна імітаційна модель, застосування якої дає можливість оцінки управлінських рішень і впливів зовнішнього середовища, у тому числі негативних, як на окремих суб'єктах економіки (категорій громадян, галузей промисловості, окремих підприємств), так і на макрпоказники в цілому. Облік зв'язків між об'єктами в мультиагентній моделі, сприяє підвищенню якості прогнозування і дозволяє оптимізувати структуру розподілу матеріально-фінансових ресурсів і вибрати найкращий варіант стратегії розвитку з розглянутих.

При цьому в розглянутій технології в імітаційній моделі використовуються і моделі системної динаміки, в тих випадках, коли детальна інформація по об'єктах неважлива, або недостатньо даних для побудови мультиагентних моделей. В якості базової моделі в рамках даної роботи розглядається потокова модель кругообігу ресурсів, що представляє відкриту економіку, має зв'язки із зовнішнім світом і державою. Взаємодіючи між собою, агенти утворюють ринкову інфраструктуру: ринок товарів і послуг, ринок праці, ринок нерухомості, фінансовий ринок і т. д. В основу опису поведінки агентів покладено модель життєвого циклу. Кожен інтелектуальний агент розвивається відповідно до власної моделі поведінки, яка може змінюватися в рамках його індивідуального життєвого циклу. Життєвий цикл конкретного агента представлений у вигляді дискретної системи, за певних умов змінює свої внутрішні стани, і може бути заданий у вигляді графа переходів між стадіями його існування (рис. 1).

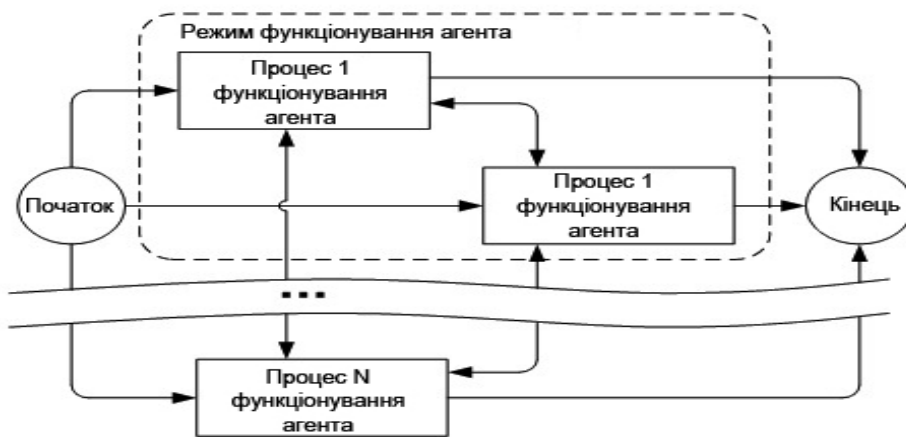


Рис. 1. Життєвий цикл агента [1, с. 40]

Динамічна модель переходу інтелектуального агента з одного режиму функціонування в інший представлена у вигляді продукційної системи:

$$PS = \langle R, B, I \rangle \quad [11]. \quad (1)$$

За рівнями визначення моделі агентів можна розподілити на 2 типи:

1. Глобальні моделі (ззовні): на рівні об'єктів, об'єднаних на підставі певної ознаки (наприклад, моделі народжуваності, смертності, міграції та ін.).

2. Локальні моделі (зсередини): на рівні окремого об'єкта (наприклад, модель споживання людини). За принципами побудови моделей агентів і вихідних даних можна виділити кілька підходів (рис. 2):



Рис. 2. Класифікація підходів до визначення логіки поведінки агентів [3, с. 40]

1. Використання регресійних залежностей, для визначення логіки на рівні множин агентів.

2. Формування бази знань агентів на підставі інтелектуального аналізу даних, для визначення логіки поведінки окремих агентів.

3. Використання цільових функцій для визначення логіки поведінки агентів.

Виявлені регресійні залежності можуть використовуватися для побудови моделей системної динаміки, наприклад, при прогнозуванні: народжуваності, смертності, захворюваності населення і ряду інших показників. Ці моделі застосовуються в тих випадках, коли неможливо врахувати всю множину зовнішніх чинників, які впливають на поведінку групи людей при моделюванні кожної людини окремо.

Істотним недоліком такого підходу є неможливість точно співвіднести виконувану дію з конкретним агентом. До плюсів такого підходу можна віднести дещо менші вимоги до статистики. У даному випадку важливішим є часовий інтервал, за який зібрана статистика, а не наявність даних статистики по всіх можливих поєднаннях ознак агентів.

У разі використання бази знань агентів існує можливість побудови локальних моделей визначають логіку поведінки на рівні окремого агента. Такий підхід ґрунтується на припущенні, що соціальні та виробничі агенти, що мають однакові набори характеристик в одних і тих же умовах поведуться аналогічно (прикладом може

слугувати принцип Беккера в економіці). Тобто ймовірність прийняття позитивного рішення з якогось питання змінюється зі зміною характеристик агента та переходів його в іншу групу.

При такому підході вдається врахувати всі особливості характеристик об'єктів. Можна виділити дві основні переваги використання цього методу:

1. Отримання нової якості прогнозних даних порівняно з регресійною залежністю: прогнозування динаміки розвитку на рівні окремих груп об'єктів, а не тільки на рівні всього масиву агентів.

2. Можливість використання вихідних даних статистики тільки за попередній період, а не за кілька періодів (як у випадку використання регресійних залежностей). Однак слід зазначити, що в такому випадку потрібно значно більше вихідних даних для прогнозування: необхідна статистика по всіх групах із різними поєднаннями відмінних ознак.

Два описаних вище підходи можуть бути використані при наявності достатнього об'єму статистики та можливості виділити стійкі залежності між факторами впливу і кінцевими результатами. Проте такий підхід може бути неефективний при моделюванні умов, з якими раніше не доводилося стикатися (наприклад, кризові ситуації).

У цьому випадку стає доцільним використання для визначення логіки поведінки агентів цільових функцій, що визначають поведінку об'єктів моделі в різних ситуаціях. Такий підхід, наприклад, необхідно використовувати при визначенні логіки виробничих агентів, у силу відсутності статистики необхідної для формування бази знань і необхідності оцінки наслідків розвитку в різних умовах.

Базова структура модельованого в системі виробничого агента визначається виразом (2):

$$E = (C, Pot, Beh, P, D, Str) \quad [11], \quad (2)$$

де  $C$  — модель споживання (на основі міжгалузевго балансу);  $Pot$  — модель потенційного випуску;  $Beh$  — модель поведінки виробничого агента;  $P$  — модель виробництва;  $D$  — модель розподілу ресурсів;  $Str$  — ресурси та кошти підприємства.

Головний недолік моделей, що використовують виробничі функції, полягає в тому, що ці моделі абстрагуються від моделі відповідності виробленої продукції платоспроможному попиту.

До методологічних обмежень міжгалузевго балансу належить неможливість достатньою мірою описувати відтворювальний аспект господарського розвитку, зокрема, розподіл доданої вартості в галузях на споживання і накопичення. На відміну від моделювання на основі виробничих функцій, де вся увага приділяється доданої вартості, тут вона зосереджена на проміжному споживанню. Моделі таких факторів економічного зростання, як трудові ресурси і технічний прогрес, часто відсутні. Враховуючи описані обмеження, вихід знайдемо в комбінації декількох підходів для моделювання виробничих агентів (рис. 3):

1. Модель споживання виробничого агента будується на основі даних міжгалузевих балансів.

2. Виробничі функції використовуються при побудові функції потенційного випуску.

3. Розподіл ресурсів виробничого агента та визначення стратегії розвитку реалізується рішенням оптимізаційної задачі або на підставі експертних даних.

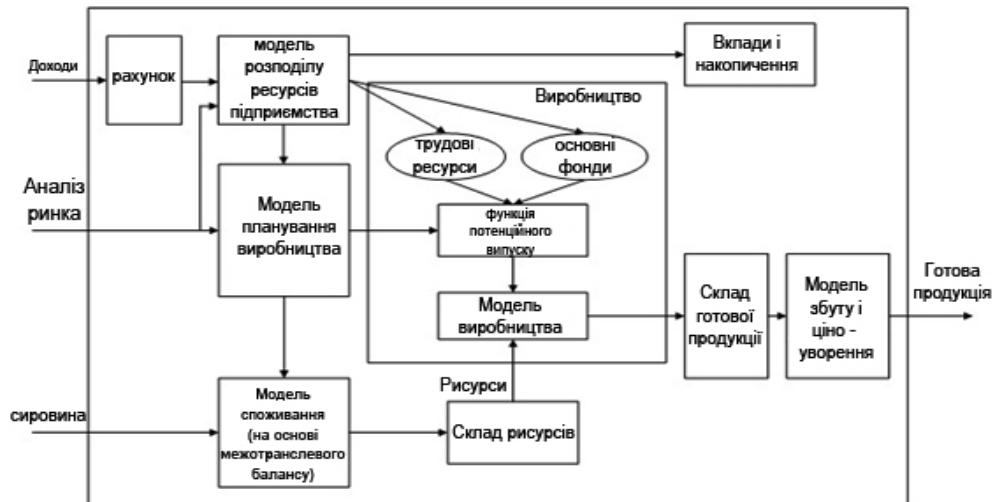


Рис. 3. Структура виробничого агента [5, с. 50]

Базова структура модельованого в системі агента-людини або агента-сім'ї визначається виразом (3):

$$S_i = \langle \{IP_i\}, SC_i, SBeh_i, SD_i, SStr_i \rangle [11]. \quad (3)$$

Структура моделі поведінки соціального агента визначається виразом (4):

$$SBeh_i = \langle SCH_i, \{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{ni}\}, DM_i, BehM_i \rangle [11]. \quad (4)$$

Модель поведінки соціальних агентів на кожній стадії життєвого циклу визначається експертною системою (рис. 4).

$$SAExpSys = \{ \{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{ni}\}, \{r_1, r_2, \dots, r_n\}, OM \} [11], \quad (5)$$

де  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  — вектор характеристик соціального агента;  $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  — вектор правил перетворення параметрів агента;  $OM$  — машина виведення.

Застосування імітаційного моделювання при розробці економічних механізмів дозволяє здійснювати перевірку теоретичних результатів і практичних пропозицій щодо створення нових управлінських стратегій і для вдосконалення існуючих економічних регуляторів.

За допомогою запропонованої технології можливо прогнозувати піввіковий склад населення, доходи населення, імміграція / еміграція, обсяги споживання товарів і послуг, обсяги імпорту / експорту за видами продукції, обсяги виробництва товарів і послуг по галузях, доходи міського бюджету за статтями доходів, показники ефективності СП і ін.

Результати моделювання можуть бути використані для порівняння різних стратегій розвитку та пошуку ефективних управлінських рішень аналітиками, що займаються стратегічним плануванням, органів влади територіальних утворень, а також комерційних підприємств.

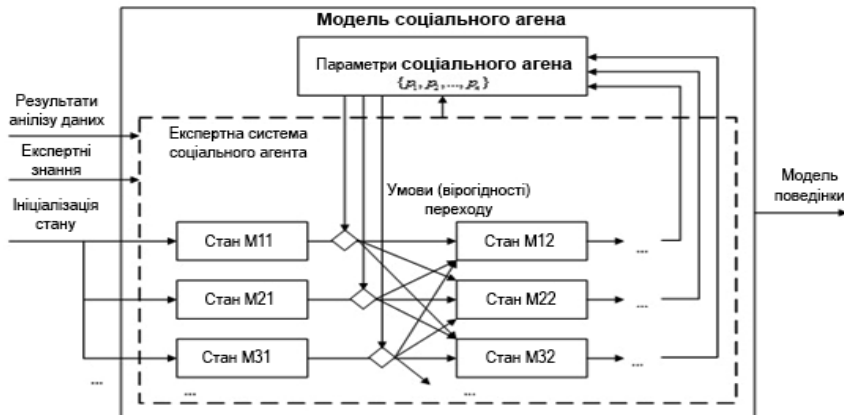


Рис. 4. Експертна система соціального агента [1, с. 45]

Таким чином, технологія моделювання соціально-економічної динаміки на основі мультиагентного підходу може слугувати інструментом комплексного аналізу і прогнозу розвитку ситуації в МО. Застосування апарату мультиагентного імітаційного моделювання є доцільним, оскільки багато що із завдань прогнозування та аналізу варіантів дій керівництва, що вирішуються в рамках МО, можна вирішити тільки за умови детального опису моделей поведінки конкретних суб'єктів економіки, що досягається в рамках агентного моделювання. Але водночас не відкидається класичний підхід до соціально-економічного моделювання там, де є можливість узагальнення предметної галузі, тобто можна говорити про комбінації підходів.

1. *Бегунов Н.А.* Технология прогнозирования развития муниципального образования с использованием имитационной модели / Н.А. Бегунов, Б.И. Клебанов, И.М. Москалёв // Журнал «Автоматизация и современные технологии». — М.: Машиностроение, 2009. — № 4. — С. 39–45;
2. *Клебанов Б.И.* Использование результатов Data Mining в мультиагентных имитационных моделях / Б.И. Клебанов, И.А. Бегунов, И.М. Москалев, И.А. Рапопорт // Научные труды международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ-ПРОМ 2009» в рамках 6 международного форума «СВЯЗЬ-ПРОМЭКСПО 2009». — Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2009. — 572 с.;
3. *Селіверстов Р.Г.* Опорний конспект лекцій з дисципліни «Інформаційні системи в менеджменті» / Р.Г. Селіверстов. — Львів: ЛРІДУ НАДУ, 2008. — 46 с.;
4. *Матвійчук А.В.* Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки: монографія / А.В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2007. — 264 с.;
5. *Матвійчук А.В.* Аналіз і управління економічним ризиком: навч. посібник / А.В. Матвійчук. — К.: Центр навчальної літератури, 2005. — 224 с.;
6. *Матвійчук А.В.* Моделювання фінансової стійкості підприємств із застосуванням теорій нечіткої логіки, нейронних мереж і дискримінаційного аналізу / А.В. Матвійчук // Вісник НАН України. — 2010. — № 9. — С. 24–46;
7. *Романишин Ю.М.* Особливості синхронізації частотно-вибірної моделі активації нейрона / Ю.М. Романишин // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. — Вип. 34. — К., 2005. — С. 58–64;
8. *Карпов Ю.Г.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.;
9. Веб-сайт Міжнародної асоціації соціального забезпечення: [електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.issa.int/aiss/Observatory/Country-Profiles/Regions/Europe/Ukraine>;
10. Офіційний сайт Держкомстату України: [електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>;
11. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Monographs>.