

Є.А. Бобров

**ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ
ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОНОМІЧНИХ МЕХАНІЗМІВ
РОЗПОДІЛУ ФІНАНСОВИХ РЕСУРСІВ**

В умовах структурної перебудови народного господарства, при заснуванні суб'єктів господарської діяльності на принципово іншій основі, формуванні нових господарських відносин зростають вимоги до підвищення ефективності управління економікою. В низці проблем підвищення ефективності управління господарською діяльністю важливу роль відіграють проблеми розробки теоретичних засад та методології моделювання складних соціальних та економічних систем. Теорія, в межах якої ведеться розробка ефективних механізмів функціонування соціальних та економічних систем з урахуванням людського фактора, виникла наприкінці 60-х рр. і отримала назву теорії активних систем. Одним з перших досліджень цієї тематики була праця В.М. Буркова "Основи математичної теорії активних систем".

Теоретичні та експериментальні дослідження механізмів функціонування, що пов'язані між собою, забезпечують більшу ефективність вирішення питань управління, підвищують обґрунтованість отриманих результатів. Бурхливий розвиток обчислювальної техніки, а особливо засобів моделювання, привів до того, що застосування ігрових математичних моделей для розв'язання стратегічних, економічних, фінансових та інших проблем отримало широке розповсюдження. При цьому ефективним засобом перевірки властивостей економічних механізмів є метод ділових імітаційних ігор¹.

В Інституті кібернетики НАН України було розроблено метод автоматичного моделювання, який довів свою ефективність у побудові моделей великих систем народного господарства². Перевагами цього методу є можливість описати моделі, стандартні підходи для завдання алгоритму, можливість використання вставних функцій для відображення моделювання впливу на систему³. Проблема імітаційного моделювання займаються такі українські вчені, як О.О. Бакаєв, Н.І. Костіна, Н.В. Яровицький.

Водночас, незважаючи на велику кількість публікацій, пов'язаних з дослідженнями функціонування імітаційних систем, налічується небагато робіт, які поєднують теоретичні та експериментальні розробки в дослідницький комплекс.

Метою даної статті є аналіз можливості застосування імітаційного моделювання у конкурсних механізмах ділових ігор при розподілі фінансових ресурсів в багатокритеріальній задачі оптимізації.

Важливість розробки методів моделювання, які дають змогу проводити теоретичні та експериментальні дослідження, обумовлена тим, що практично жодна робота, пов'язана з впровадженням теоретичних результатів, не обходиться без експериментальної перевірки. По-перше, задачі, які отримуються при розробці організаційних механізмів, є до-

волі складними в математичному розумінні і не мають загальних методів вирішення. По-друге, в основу оцінки ефективності механізмів покладено знаходження рішень ділових ігор, що являє собою певну формалізацію гіпотез про поведінку людей в системі. Підтвердити або спростувати гіпотезу можна після її експериментальної перевірки.

Метод імітаційних ігор та імітаційне моделювання дають змогу проводити експериментальні дослідження моделей організаційних систем. Зараз вони широко застосовуються в процесі прийняття економічних рішень як інструмент дослідження та обґрунтування проектів організаційних механізмів.

Більшість практичних задач, що подані у вигляді аналітичних залежностей як аргумент результативного показника, розглядають випадкові величини або випадкові функції, які характеризуються середніми значеннями і відхиленням від середнього. При цьому можна задати ймовірні нижні і верхні межі аргументів і для них розрахувати значення результативного показника. Але розрахунки песимістичних або оптимістичних варіантів не мають великої цінності. Імітаційне моделювання розв'язує цю проблему при наявності аналітичних залежностей та при їхній відсутності. Проводиться моделювання сценарію за допомогою заздалегідь обумовленої процедури, яка забезпечує випадковий результат. Щоразу отримуємо одну можливу реалізацію показника. Багаторазово повторюючи процедуру, отримуємо множину реалізацій і, відповідно, множину можливих значень результативного показника. Іншими словами, формується вибірка, яку можна задати звичайними методами теорії статистики з метою отримання статистичних характеристик показника, який аналізується⁴.

Для застосування методу необхідно знати:

- ймовірні характеристики факторних аргументів;
- правило обчислення результативної ознаки при будь-яких фіксованих значеннях аргументів.

Вибір методу імітаційного моделювання в даному випадку обумовлений низкою причин:

- наявні аналітичні методи досить складні і трудомісткі, а імітаційне моделювання дає простіший спосіб попереднього розв'язання задачі;
- імітаційне моделювання дає змогу провести оцінку параметрів моделі;
- поставити експеримент у реальних умовах неможливо.

Імітаційне моделювання підтримує таку схему:

1. Розробка концептуальної моделі. Для цього необхідно в першу чергу визначити цілі моделювання. Модель, що досліджується, відображає основні сторони діяльності і результат функціонування підприємства (групи підприємств). Як результат маємо багатокритеріальну задачу. Метою моделювання є розробка підходу до перерозподілу коштів, що знижує можливість збиткової діяльності. Крім класичних критеріїв мінімізації ризику і максимізації прибутку, розглядаються також екологічні і соціальні характеристики програми виробництва. Тому варіант розподілу коштів має сприяти оптимізації критеріїв. Застосування методу імітаційного

моделювання допомагає у визначенні оптимальних співвідношень результативних характеристик.

2. Підготовка початкових даних. На цьому етапі знаходяться кількісні параметри функціонування системи. Значна частина параметрів системи – випадкові величини. Тому особливого значення при формуванні початкових даних приділяють вибору законів розподілу випадкових величин і відповідної апроксимації функцій. Відсутні фактичні дані замінюються величинами, що були одержані в процесі імітаційного експерименту, тобто згенеровані комп'ютером.

3. Планування машинних експериментів.

4. Моделювання.

5. Аналіз результатів моделювання і прийняття рішень.

Застосування імітаційного моделювання при розробці економічних механізмів гарантування безпеки дає змогу здійснювати експериментальну перевірку теоретичних результатів і практичних пропозицій для створення нових економічних механізмів і вдосконалення існуючих економічних регуляторів. Крім того, ігровий підхід дає змогу отримати певне уявлення про нові економічні механізми і набути деякого досвіду у їх застосуванні. Отже, ігрове імітаційне моделювання можна розглядати і як метод експериментального дослідження, і як інструмент для навчання.

При проведенні імітаційної гри досліджується функціонування організаційної системи протягом визначеного періоду часу. В ігровій інтерпретації окремих період функціонування організаційної системи розглядається як одна партія. При цьому передбачається, що механізм функціонування визначений і не змінюється при переході від одного періоду функціонування до іншого.

У грі функції активних елементів, пов'язаних з прийняттям рішень, виконують гравці. Кожна партія імітаційної гри, як і більшість ігор, пов'язаних з аналізом економічних механізмів, проводиться в три етапи: збору даних; планування; реалізації.

На етапі збору даних Центру повідомляється інформація, що запитується. На етапі планування на основі отриманої інформації формується управлінське рішення. І, нарешті, на етапі реалізації визначається значення цільових функцій гравців – виграш.

Слід відзначити, що тут важливим напрямком, пов'язаним із застосуванням імітаційних ігор як у дослідницьких цілях, так і з метою навчання є ігри за участю автоматів (*artificial players or robots*). У таких іграх учасники гри замінюються автоматами з формалізованими процедурами прийняття рішень. Можна стверджувати, що заміна реального гравця на штучного являє собою спробу побудувати модель поведінки людини. Ця модель містить у собі основні параметри, що характеризують індивідів, і насамперед мотиви економічної активності, її цілі і засоби досягнення цих цілей.

Природно, що імітація розмаїття людської особистості, її неповторної індивідуальності, різноманітних мотивів її діяльності – задача, в повному обсязі практично неможлива для розв'язання. Проте у даному разі проблема значно спрощується, тому що формалізується головним чином

те, що пояснює економічну поведінку людей у різноманітних господарських ситуаціях.

Серед багатьох підходів до моделювання економічної поведінки людини умовно можна виділити декілька основних напрямків. У першому напрямку економічна поведінка людей у межах моделі “людини економічної” або “*homo economicus*” припускає використання постулату про раціональну поведінку людини⁵. В його основі лежить прагнення індивідуума отримати максимальний результат при мінімальних витратах в умовах обмеженості можливостей і ресурсів, що використовуються. Моделі людини у межах другого напрямку містять у собі прагнення не тільки до матеріальних благ, але й певні елементи психологічного характеру – милосердя, цілі, пов’язані з традиціями, розуміння престижу, використання вільного часу і т.д. Для третього напрямку характерна зміна мотивації діяльності в напрямку зростання значення тих або інших складових, що забезпечують реалізацію не стільки матеріальних, скільки духовних потреб особистості.

Аналізуючи перераховані напрямки моделювання економічної поведінки людини, відзначимо, що прагнення людини мінімізувати свої витрати і максимізувати вигоду явно простежується у всіх підходах до моделювання людської діяльності. Звідси робимо висновок, що принцип раціональної економічної поведінки є універсальним економічним принципом при моделюванні “людини економічної”. І саме цей принцип покладено в основу формальних моделей процедур прийняття рішень в алгоритмах поведінки автоматів.

Необхідність проведення ігор з автоматами виявляється в тих випадках, коли необхідно здійснити дослідження функціонування організаційної системи з великим числом елементів, оскільки проведення відповідної гри з великою кількістю учасників є нереальним.

Ігри з автоматами дуже близькі до імітаційного моделювання. Такі ігри застосовуються у випадках, коли необхідно провести велику кількість партій для дослідження динаміки гри або для отримання статистично значимої оцінки результатів. Це пов’язано з тим, що швидкодія імітаційної гри принципово обмежена часом ухвалення рішення людиною (приблизно одна хвилина в найпростіших іграх). І саме час ухвалення рішення людиною обмежує і тривалість однієї партії (2–3 хвилини в найпростіших іграх). Ігри автоматів дають змогу скоротити тривалість однієї партії до тисячної секунди.

Автомати, що використовуються в ігрових моделях для аналізу функціонування активних систем, програмуються на підставі деяких гіпотез про поведінку людей у ситуації, яка моделюється. Самі гіпотези формуються на основі аналізу стратегій реальних гравців в імітаційній грі і ці гіпотези можна, у свою чергу, перевірити під час проведення імітаційної гри.

Алгоритм вибору рішень автоматом, що використовується в багатьох імітаційних іграх, ґрунтується на аксіомі індикаторної поведінки.

Якщо вважати, що в кожній партії вибір s_i i -м гравцем визначає його рух у бік його цілі, то процедура, що реалізує закон індикаторної поведінки, може бути представлена у вигляді:

$$s_i^{k+1} = s_i^k + \gamma_i^k (\tilde{s}_i^k - s_i^k),$$

$$\gamma_i^k \in [0;1],$$

де s_i – стан i -го автомата в $k+1$ -й партії гри, \tilde{s}_i^k – стан цілі i -го автомата в k -й партії. Іншими словами, це той стан, який забезпечує i -му автомату максимальне або мінімальне значення його цільової функції в k -й партії гри. Значення γ_i^k визначає розмір кроку у бік цілі. Конкретне значення γ_i^k може залежати від часу, поточного стану і деяких інших чинників, що є зовнішніми відносно моделі. В іграх, де використовуються автомати з індикаторною поведінкою, настройка автоматів полягає у виборі процедури зміни γ_i^k від партії до партії. Але основна складність при реалізації алгоритму індикаторної поведінки полягає у визначенні стану цілі \tilde{s}_i^k . Це пов'язано з тим, що в загальному випадку при проведенні гри окремих учасник не має точної інформації про поведінку кожного з інших гравців. Проте у багатьох випадках кожний гравець, маючи власну інформацію, що була повідомлена в Центр, знання закону управління й отриманий вигравш, може відновити модель поведінки своїх суперників по грі.

Нижче наводиться опис ігрового експерименту і результати, отримані після проведення імітаційної гри для аналізу ефективності економічних механізмів розподілу фінансових ресурсів. Запропонована модель є формою імітації реального середовища, в якому діють підприємства або функціонуюча виробнича система. Оскільки можливість експериментувати з реальними фінансовими потоками суворо обмежена, то, щоб досягти максимального ефекту, ми користуємося методом імітаційного моделювання. Це дасть змогу отримати кількісні характеристики функціонування підприємств в різних можливих ситуаціях. У цьому випадку процеси підприємств-оригіналів підміняються процесами, які імітуються в абстрактній моделі, але з дотриманням основних закономірностей функціонування оригіналу. У процесі імітації фіксується визначений стан системи, вимірюються вихідні показники, обчислюються характеристики якості функціонування системи.

Конкурсні механізми є одним з добре відомих принципів управління в практиці регулювання економічними системами. Особливість конкурсних механізмів полягає в тому, що вони потребують організації явного суперництва між учасниками конкурсу. До числа переможців конкурсів входять ті виконавці, які мають найбільші показники ефективності використання коштів, що виділяються на виконання робіт, з гарантування необхідного рівня безпеки. Переможці конкурсу одержують певний пріоритет при розподілі фінансових ресурсів. Слід зазначити, що при організації конкурсу гравці повідомляють Центр не тільки про заявку на обсяг фінансування, але й очікуваний розмір ефекту від реалізації пріоритетних напрямків. Тобто тут передбачається, що у гравців збільшується кількість ступенів свободи. Для досягнення мети вони вже можуть грати на двох видах інформації.

Задача Центру полягає в такому розподілі наявних коштів, щоб отриманий від виконання робіт ефект у системі в цілому був найбільшим. Розмір цього ефекту залежатиме від того, наскільки дієво будуть використані кошти виконавцями і скільки коштів буде виділено кожному виконавцю.

Знаючи принципи визначення переможців конкурсу і процедури розподілу Центром фінансових ресурсів між виконавцями, задачею гравців є: вибрати таку стратегію поведінки, тобто повідомляти в Центр таку інформацію про себе, обробляючи яку Центр виділив би виконавцю стільки фінансових ресурсів, які забезпечили б йому отримання найбільшого значення цільової функції.

Введемо такі позначення:

M – кількість напрямків-переможців конкурсу;

R – обсяг виділених коштів;

w_i – оцінка очікуваного ефекту i -го виконавця;

q_i – оцінка ефективності i -го виконавця;

s_i – обсяг фінансування, рекомендований i -м гравцем.

Тоді:

$$q_i = \frac{w_i}{s_i} .$$

Далі:

x – результатна експертна оцінка ефекту пріоритетного напрямку;

c – мінімальний розмір фінансових ресурсів, виділених для виконавців, які не увійшли до числа переможців;

t_i – коефіцієнт, що характеризує використання коштів;

h_i – функція штрафу за недодержання (або за завищення) очікуваного ефекту i -м виконавцем.

Тоді:

$$h_i = \begin{cases} \alpha [w_i - \mathcal{E}_i], & \text{якщо } w_i - \mathcal{E}_i > 0 \\ 0, & \text{якщо } w_i - \mathcal{E}_i \leq 0 \end{cases} ,$$

де \mathcal{E}_i – ефект, який передбачається Центром від i -го пріоритетного напрямку у разі його фінансування у повному обсязі;

α – коефіцієнт штрафу.

Під конкурсними механізмами надалі будемо розуміти механізми розподілу фінансових ресурсів, у якому процедура планування включає етап визначення множини Q напрямків-переможців конкурсу. Ця множина містить номери пріоритетних напрямків із найбільшими оцінками ефективності.

Алгоритм визначення множини Q може бути представлений таким чином: впорядкуємо оцінки ефективності виконавців проектів $q_i, i = 1, \dots, n$ у порядку вибуття, тобто⁶:

$$q_{i_1} > q_{i_2} > \dots > q_{i_n} . \quad (1)$$

Множина виконавців-переможців конкурсу набуває вигляду:

$$Q = \{i_k : k \leq m\}, \text{ де } m < n.$$

Процедура розподілу коштів після визначення множини переможців має вигляд:

$$x = \begin{cases} s_{i_k}, & \text{якщо } 1 \leq i_k \leq m \\ R - \sum_{k=1}^m s_{i_k} - c(n-m-2), & \text{якщо } i_k = m+1 \\ c, & \text{якщо } m+2 \leq i_k \leq n. \end{cases}$$

В особливому становищі при цьому знаходиться виконавець із номером $m+1$. Він є кращим серед тих, хто програв конкурс, і тому може отримати коштів дещо більше, ніж C .

В імітаційній грі, що аналізується, передбачено покарання гравця за недосягнення (або за завищення) очікуваного ефекту, тому цільова функція i -го гравця має вигляд:

$$\tilde{f}(t_i, x_i) = \mathcal{E}_i - h_i.$$

Надалі будемо вважати, що фактичний ефект напрямку визначається виразом:

$$\mathcal{E}_i = \sqrt{r_i x_i}.$$

Тоді

$$\tilde{f}(r_i, x_i) = \sqrt{r_i x_i} - \begin{cases} \alpha (w_i - \sqrt{t_i x_i}), & \text{якщо } w_i - \sqrt{t_i x_i} > 0 \\ 0, & \text{якщо } w_i - \sqrt{t_i x_i} \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

У грі важливим моментом є процедура визначення переможців конкурсу. Очевидно, що в кожній партії гри кількість переможців може бути різною. Дійсно, якщо Центр спочатку визначає мінімальний розмір фінансових ресурсів c для виконавців, які не увійшли до числа переможців, то кількість переможців можна визначити у відповідності з такою процедурою. З упорядкованих оцінок ефективності (1) обирається максимальне число виконавців m , для яких правильною є нерівність:

$$\sum_{k=1}^m s_{i_k} < R - c(n-m), \quad (3)$$

де число m визначає кількість переможців у даній партії гри.

З процедури визначення переможців у загальному вигляді випливає, що можливий випадок, коли є лише один переможець конкурсу, але і він не одержує згідно із запитом відповідної кількості коштів, тобто нерівність (3) має вигляд:

$$R - c(n-1) < s.$$

У цьому разі переможцем конкурсу оголошується виконавець під i -м номером і йому передається весь залишок фінансових ресурсів.

Детальний аналіз формальної моделі конкурсного механізму в даному разі ми не розглядаємо, з ним можна ознайомитися у фаховій літера-

турі⁷. Відзначимо лише, що для цільової функції виду (2) існує рівноважна ситуація за Нешем, причому вид ситуації рівноваги визначається розміром коефіцієнта α у функції штрафу h_i . Величина α визначає штраф для i -го виконавця проекту, якщо йому в будь-якій ситуації не вигідно відхилитися від заявленого розміру очікуваного ефекту проектів $q_i, i = 1, \dots, n$. У випадку ж слабого штрафу виконавець може відхилитися від оцінки очікуваного ефекту і при цьому виграти більше, ніж якби він дотримувався умови $w_i = \sqrt{t_i x_i}$.

Кожна партія гри проводиться в чотири етапи. На першому етапі учасники гри повідомляють Центр про свої заявки на фінансування s_i та очікуваний ефект w_i від виконання робіт із забезпечення необхідного рівня безпеки.

Другий етап – етап визначення учасників-переможців. На цьому етапі Центр на основі отриманих заявок визначає учасників-переможців із найбільшими оцінками ефективності.

На етапі розподілу (третій етап) Центр на основі отриманих оцінок розраховує обсяг фінансування x_i для учасників гри.

На четвертому етапі учасники, отримавши певний обсяг фінансування, підраховують ефект за формулою (2).

На цьому партія вважається закінченою і необхідно переходити до наступної партії. Тобто учасники знову повідомляють Центр про заявки на фінансування, Центр опрацьовує отриману інформацію і т.д.

Розглянемо гіпотетичну модель розподілу фінансових ресурсів.

| | |
|--|--|
| Кількість учасників | 5 |
| Кількість коштів, що виставлені на конкурс | 500 |
| Гарантована мінімальна кількість коштів, що виділяється учасникам конкурсу | 50 |
| Коефіцієнт штрафу | 0,6 |
| Коефіцієнт використання коштів: | $t_1 = 50; t_2 = 50; t_3 = 60; t_4 = 70; t_5 = 70$. |

Згідно з розрахунками після проведення першої партії гри результати матимуть такий вигляд:

| | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Номер гравця | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Заявка | 100,0 | 120,0 | 130,0 | 160,0 | 180,0 |
| Оцінка ефективності | 75,0 | 80,0 | 90,0 | 110,0 | 50,0 |
| Отримані кошти | 100,0 | 60,0 | 130,0 | 160,0 | 50,0 |
| Місце в конкурсі | 1 | 4 | 2 | 3 | 5 |
| Штраф | 4,1 | 0,0 | 1,6 | 4,0 | 0,0 |
| Цільова функція | 68,1 | 54,8 | 87,3 | 103,3 | 59,2 |

Партії гри слід повторювати до тих пір, поки достатньо явно не проявиться стратегія поведінки учасників гри.

Отже, проаналізувавши конкурсні механізми, можемо дійти висновку, що вони належать до механізмів централізованого фінансування пріоритетних напрямків. Але це механізми особливого складу. Відмінність цих механізмів від класичного конкурсу полягає у тому, що Центр для підтримки всіх пріоритетних напрямків змушений фінансувати всі напрямки. Переможці конкурсу отримують фінансування в повному обсязі, а гравці, що програли, – деякий мінімум коштів. У той же час учасники

конкурсу мають можливість одержати два типи інформації для досягнення своїх цілей, а саме оцінку ефективності напрямку й оцінку коштів, необхідних для досягнення заявленої ефективності. Розглянутий підхід до побудови й оцінки ефективності економічних механізмів базується на використанні так званих оціночних (спрощених моделей) об'єктів господарської діяльності. В його основі лежить гіпотеза про те, що ефективність дії економічних механізмів лише незначною мірою залежить від складності опису ситуації. Таким чином, маючи детально розроблений економічний механізм, при його дослідженні можна обмежитися простими моделями господарських об'єктів.

Перспективними шляхами подальших розробок даного напрямку є дослідження стійкості об'єктів господарської діяльності з урахуванням усієї системи економічних зв'язків. Це в свою чергу потребує використання адекватніших, а значить і складніших моделей.

¹Емельянов С.В., Бурков В.Н., Ивановский А.Г. и др. Метод деловых игр. – Международный центр науч.-техн. информ. – М.: 1976.

²Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Имитационные модели в экономике. – К.: Наук. думка, 1978. – 304 с.

³Костіна Н.І., Алексєєв А.А., Василик О.Д. Фінанси: система моделей і прогнозів. – К.: Четверта хвиля, 1998. – 184 с.

⁴Баркалов С.А., Бакунец О.Н., Гуреева И.В. и др. Оптимизационные модели распределения инвестиций на предприятия по видам деятельности. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 56 с.

⁵Опоицев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. – М.: Наука, 1977.

⁶Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Конкурсные механизмы в задачах распределения ограниченных ресурсов // АиТ. – 1988. – №11. – С.142–153.

⁷Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. – М.: Наука, 1989.