

О.А. Клепікова

Одеський національний політехнічний університет

ІМІТАЦІЙНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ, ЯК АНАЛІТИЧНА ОСНОВА ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У СТРАХУВАННІ

Стаття присвячена технології застосування процедур планування імітаційних експериментів на моделях бізнес-процесів страхових компаній.

Ключові слова: імітаційна модель, імітаційний експеримент, система підтримки прийняття рішень, страхова компанія.

Статья посвящена технологии применения процедур планирования имитационных экспериментов на моделях бизнес-процессов страховых компаний.

Ключевые слова: имитационная модель, имитационный эксперимент, система поддержки принятия решений, страховая компания.

The article is devoted of using technology planning procedures of simulation experiments on models of business processes in insurance companies.

Keywords: simulation model, simulation experiments, decision support system, insurance company.

У сучасних ринкових умовах страхові компанії є могутніми фінансовими комплексами з надання різноманітних фінансових послуг, пов'язаних, як з основною, так із додатковою діяльністю. У зв'язку з високим ступенем невизначеності страхового ринку в своїй повсякденній діяльності страхові компанії повинні враховувати вплив різноманітних збурюючих чинників внутрішнього і зовнішнього середовища, що особливо характерно для кризового стану економіки.

Це вимагає застосування в процесі управління страховими компаніями особливо гнучких методів і інформаційних технологій імітаційного моделювання.

Дослідженню різних аспектів імітаційного моделювання, плануванню та проведенню імітаційних експериментів приділено багато уваги такими фахівцями в області імітаційного моделювання, як Р. Фішер, Т. Нейлор, Дж. Клейнен, Ю. М. Адлер, Р. Шеннон, Н. П. Бусленко, С. В. Емельянов, Н. Н. Личкіною, З. М. Соколовською та ін.

Однак проблеми моделювання бізнес-процесів страхових компаній, зумовлені необхідністю комплексного аналізу операційної, фінансово-інвестиційної, маркетингової діяльності страхової компанії, забезпечення економічної спроможності страхової компанії з урахуванням різних факторів зовнішнього і внутрішнього ризикового середовища, здебільшого стохастичного характеру, залишаються невирішеними. Здійснення вказаних тенденцій неможливе без використання відповідного інструментарію, зокрема, сучасних технологій імітаційного моделювання, які на сьогодні є одним з найбільш перспективних напрямів наукових досліджень в області аналізу, прогнозування і моделювання економічних явищ і процесів.

У зв'язку з цим, розробка комплексу імітаційних моделей та застосування технології проведення імітаційних експериментів для управління бізнес-процесами страхової компанії на базі сучасних технологій комп'ютерного моделювання є актуальною проблемою, яка й обумовила вибір теми дослідження, його мету та завдання.

У процесі дослідження розроблено комплекс імітаційних моделей для управління бізнес-процесами страхової компанії на базі сучасних технологій комп'ютерного моделювання в системі IThink (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема комплексу імітаційних моделей “Управління страховою компанією”

Кожен з наведених процесів представляє собою потокові діаграми, в яких за допомогою спеціальних об'єктів методу системної динаміки (фонд, потік, конвертер, зв'язок) представляється математичний алгоритм розрахунку усіх процесів роботи страхової компанії.

Імітаційна модель дозволяє проводити імітацію бізнес-процесів із урахуванням впливу різноманітних стохастичних факторів на стратегічну перспективу, тобто фактично відіграє роль тренажера для менеджерів та керівників страхових компаній. На моделі-тренажері “програються” управлінські рішення щодо формування бізнес-стратегії та їх можливі наслідки, вивчення тенденцій розвитку страхової компанії.

На базі імітаційної моделі здійснено оцінку банкрутства страхової компанії, платоспроможності, можливість отримання прибутку, формування страхових резервів, достатніх для виконання зобов'язань перед страхувальниками. Але усі імітовані процеси носять стохастичний характер, а значить, висновок про відповідність отриманих результатів можна зробити на базі представницької статистичної сукупності отриманих результатів імітаційних експериментів. У кожному конкретному випадку сукупність може бути різною.

Метою статті є розробка серії планів імітаційних експериментів для зупинки і постімітаційного аналізу результатів експериментів.

Технологія імітаційного моделювання, що є основою побудови модельного комплексу, охоплює важливий цикл моделювання складних економічних систем, до яких і належить страхова компанія: від постановки проблеми і формування концептуальної моделі – до планування обчислювального експерименту, аналізу його результатів і прийняття рішення [1, 2].

Технологія прийняття рішення страховиком за допомогою комплексу імітаційних моделей зображена на рис. 2.

Після побудови будь-якої економіко-математичної моделі, в тому числі і імітаційної, необхідно провести випробування, перевірку її на адекватність [1]. В імітаційному моделюванні це є надзвичайно важливим і відповідальним моментом,

оскільки розробник та користувач моделі повинні бути впевнені, що кінцеві результати моделювання точно відображають тенденції розвитку досліджуваного об'єкту.

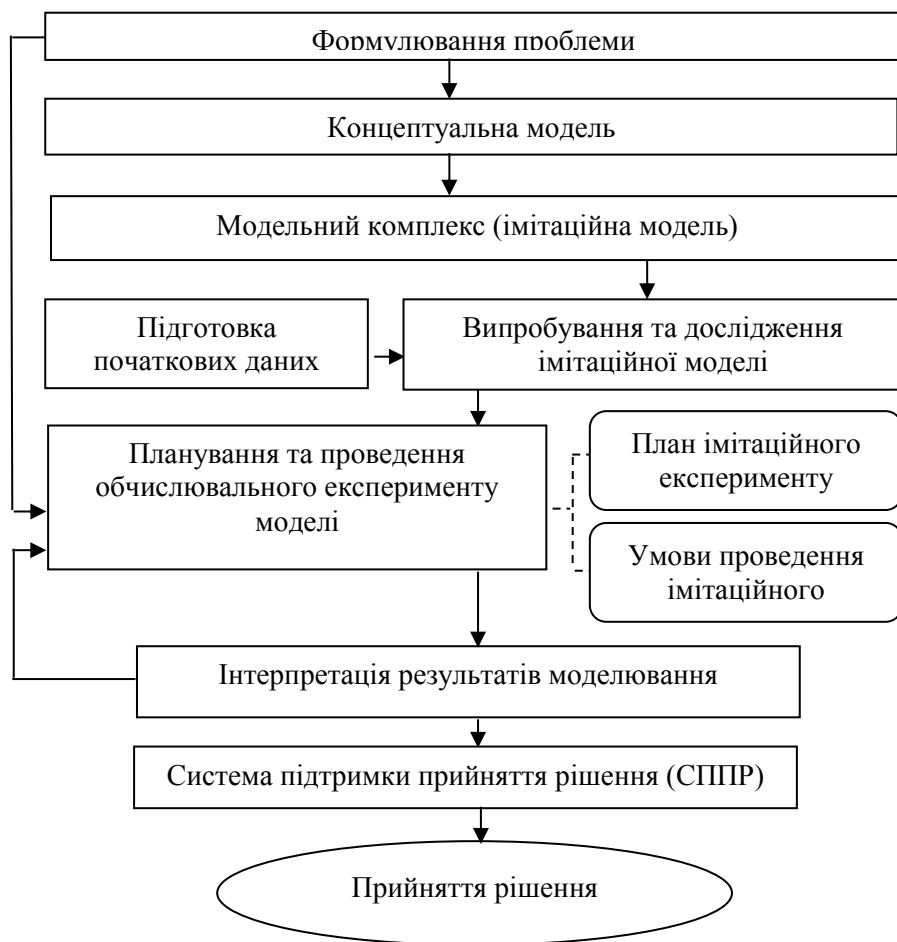


Рис. 2. Технологія прийняття управлінського рішення страховиком [5]

Для впевненості, що висновки, зроблені на основі модельного комплексу будуть правильними і можуть бути використані особою, що приймає рішення (ОПР) щодо оцінки як поточної ситуації страхової компанії, так і на прогнозований період, необхідно провести серію експериментів (перевірок, випробувань), в процесі яких, дослідник зможе встановити адекватність отриманих результатів.

Отже, прийняття ефективних рішень основних задач страхування за допомогою розробленого комплексу імітаційних моделей пропонується з розробкою та складанням такого плану комп'ютерного експерименту, який би дозволив на основі обраного математичного методу аналізу результатів моделювання досягати поставлених цілей ефективним чином, з урахуванням обмежень на можливі ресурси страхової компанії та макроекономічні показники.

Технологічний ланцюжок такого експериментального дослідження на імітаційній моделі представляє послідовність наступних дій:

- відповідно до мети дослідження здійснюється постановка математичного завдання (визначається зміст направлено обчислювального експерименту);
- відповідно до поставленого завдання дослідження розробляється план експерименту; за планом проводиться серія експериментів, в ході яких збирається інформація (результати експериментів);
- залежно від мети експерименту вибирається метод аналізу результатів, що дозволяє приймати менеджерам та керівникам страхових компаній рішення за наслідками моделювання.

Для раціонального використання особливостей імітаційних експериментів та прийняття зважених управлінських рішень створена система підтримки прийняття рішення (СППР), схема якої наведена на рис. 3.



Рис. 3. Структура системи підтримки прийняття рішення

СППР містить базу знань, яка дозволяє розв'язувати визначене коло задач у сфері прийняття фінансових рішень, а саме, про наближення до банкрутства на основі результатів імітаційних експериментів.

Джерела даних знаходяться у модельному комплексі імітаційних моделей, результати роботи якого потрапляють до бази даних, де вони зберігаються. При необхідності, результати імітаційних експериментів проходять попередню обробку, узгодження та відбір. База даних забезпечує ОПР аналітичними даними, які відображають найважливіші характеристики діяльності страхової компанії. Дані – факти, що характеризують окремі властивості об'єктів, процесів, явищ (наприклад, потік страхових платежів за крок моделювання). Дані бази даних використовуються у базі моделей, де проходять подальшу обробку та аналіз [3].

База знань забезпечує виявлення і обґрунтування варіантів всіх альтернатив, розроблених менеджерами або керівництвом страхової компанії [3]. Знання – закономірності, отримані в результаті експериментів і які пов'язують дані.

База знань включає в себе дані про проведення окремих імітаційних експериментів (наприклад, експерименти про встановлення ймовірності банкрутства), їх характеристики, умови проведення, ступінь впливу на конкретний процес в залежності від використовуваних параметрів [3, 4].

База моделей СППР за допомогою відповідного набору алгоритмів та математичних моделей забезпечує обробку аналітичної інформації та інтелектуальний аналіз даних, а саме:

- встановлення адекватності комплексу імітаційних моделей;
- планування та обробку результатів імітаційних експериментів.

Більш детально зупинимось на випробуваннях та дослідженнях комплексу імітаційних моделей, плануванні та проведенні імітаційних експериментів, оскільки саме вони є основою прийняття рішень у даному дослідженні.

З точки зору визначення поняття імітаційного експерименту планування експерименту проводиться після випробувань та досліджень властивостей моделі, таких як:

- проведення аналізу чутливості імітаційної моделі;
- оцінка точності та стійкості результатів моделювання;
- оцінка адекватності моделі (верифікація, валідація моделі).

Чутливість імітаційної моделі представляється величиною мінімального приросту вибраного критерію якості, який обчислюється на статистичних даних моделювання, при послідовному варіюванні параметрів моделювання на всьому діапазоні їх зміни. Проведення аналізу чутливості у сучасних системах моделювання добре автоматизована [1, 5, 6].

Точність імітації явищ є оцінкою впливу стохастичних елементів на функціонування моделі складної системи. Ступінь точності визначається величиною флуктуації випадкового чинника (дисперсією). Для визначення точності результатів імітації оцінюються довірчі інтервали [1, 5]. Якщо отримана оцінка дійсного середнього μ сукупності, то визначається верхня і нижня межі інтервалу, так, щоб імовірність попадання дійсного середнього в інтервал, ув'язнений між цими межами, дорівнювала деякій заданій величині (α – довірна імовірність) таким чином:

$$P \{ \bar{X} - d < \mu < \bar{X} + d \} = 1 - \alpha, \text{ де} \quad (1)$$

\bar{X} – вибіркове середнє, $1 - \alpha$ – імовірність того, що інтервал $\mu \pm d$ містить X .

Під стійкістю результатів імітації розуміється ступінь нечутливості її до зміни умов моделювання [5, 6]. Стійкість результатів моделювання характеризується збіжністю контрольованого параметра моделювання до певної величини при збільшенні часу моделювання варіанту складної системи. На практиці рекомендується стійкість результатів моделювання оцінювати дисперсією значень відгуку (по вибраній компоненті). Якщо дисперсія при збільшенні часу моделювання не збільшується, значить, результати моделювання стійкі.

Перевірка адекватності моделі – це відповідь на питання про те, наскільки модель добре представляє об'єкт дослідження. Існує цілий ряд методів перевірки узгоджень реальних виходів з тими, що моделюються, згідно яким реалізація завдання оцінки достовірності є багатоетапним процесом отримання доказу правильності і коректності висновків щодо поведінки досліджуваної системи [1, 7,

8]. До них належать методи факторного, спектрального та регресійного аналізу, визначення критеріїв узгодження (Колмогорова-Смирнова, t - Ст'юдента, Кокрена і та ін.), непараметричних критеріїв, коефіцієнту неспівпадіння Тейла та інших. Для перевірки адекватності модельного комплексу був застосований критерій Тейла [9]. Для дослідження на адекватність були обрані ключові показники модельного комплексу (табл. 1).

Таблиця 1

Дослідження адекватності моделі за допомогою коефіцієнту Тейла

Показники моделі	Кількість випробувань, n	Коефіцієнт Тейла, U
Страхові платежі	50	0,06
Страхові виплати	50	0,14
Чистий прибуток	50	0,08
Нерозподілений прибуток	50	0,09
Платоспроможність (CAR%)	50	0,07
Статутний капітал	50	0,05
Страхові резерви	50	0,13

Згідно проведеним дослідженням модель має достатню високу адекватність: коефіцієнт U знаходиться в межах від 0.06 до 0.14.

Всі розглянуті процедури в комплексі дають необхідну інформаційну базу для забезпечення довіри до розробленої імітаційної моделі і переходу до наступних етапів її дослідження. Одним з найважливіших етапів є планування імітаційного експерименту.

Основними завданнями проведення імітаційного експерименту є: скоротити загальний об'єм випробувань при умові досягнення необхідної точності і достовірності отриманих результатів; підвищити значущість та інформативність кожного експерименту.

Існують два основні варіанти постановки завдання планування імітаційного експерименту:

1. Стратегічний – із всіх допустимих планів вибрати такий план, який дозволив би набути найбільш достовірного значення функції відгуку при фіксованому числі дослідів. Стратегічне планування направлене на рішення задач аналізу чутливості імітаційної моделі і визначення комбінації параметрів, які оптимізують досліджувану систему параметрів.

2. Тактичний – вибрати такий допустимий план, при якому статистична оцінка функції відгуку може бути отримана із заданою точністю при мінімальному об'ємі випробувань. Тактичне планування дозволяє визначитись з умовами проведення кожного прогону і зв'язано з питаннями ефективності і визначенням умов проведення досліджень (прогонів), намічених планом експерименту.

У дослідженні проведено тактичне планування, в якому поставлено питання: скільки вибірових значень показнику (наприклад, ймовірність банкрутства) необхідно взяти, щоб забезпечити статистичну значущість результатів моделювання щодо досліджуваного показнику. Завдання полягає в тому, щоб визначити для заданої точності (ймовірності банкрутства) необхідне число прогонів (запусків) моделі.

Для вирішення цього питання застосовані послідовні вибірові методи [9]. Зокрема, у дослідженні використовувалась у наведених цілях (як практично

апробовану) процедура Полсона – перевірка гіпотези про середнє. Процедура Полсона є одним з методів специфічного варіанту дисперсійного аналізу – послідовного аналізу – вона використовується для статистичної обробки результатів імітаційного експерименту.

Сутність роботи процедури полягає у наступному. Мета використання послідовних вибірових методів в машинних імітаційних експериментах полягає в мінімізації числа розрахунків (об'єму вибірки) необхідного для отримання потрібної інформації. Число розрахунків (спостережень) заздалегідь не фіксується і об'єм вибірки n розглядається як випадкова величина, яка залежить від результатів попередніх $n-1$ спостережень. Затрати машинного часу на проведення імітаційного експерименту зменшуються, так як проводиться рівно стільки спостережень, скільки необхідно, щоб отримати потрібні результати з попередньо заданою точністю.

Припущення про те, що X_1, X_2, \dots – незалежні нормально розподілені випадкові величини має за основу наступні докази:

1. Незалежність реалізується шляхом генерування кожного досліду (на кожному прогоні) за допомогою нової послідовності випадкових чисел. Відгук кожного досліду береться у якості одного спостереження.

2. На підставі центральної граничної теореми середнє (x_1, x_2, \dots) – середнє значення відгуку) кожної незалежної реалізації системи наближено повинно мати нормальний закон розподілення.

Нехай X_1, X_2, \dots – послідовність незалежних випадкових величин, кожна з яких описує ймовірність банкрутства з загальним нормальним законом розподілення, невідомим середнім μ і невідомою дисперсією σ^2 . Задача полягає у перевірці нульової гіпотези H_0 – далеко від банкрутства, де $\mu \leq \mu_0$ і альтернативної гіпотези H_1 – банкрутство, де $\mu > \mu_0$. Потрібно побудувати таку замкнуту послідовну процедуру перевірки гіпотези, щоб $P(\text{відхилити } H_0 \mid \mu \leq \mu_0) \leq \alpha$ або $P(\text{прийняти } H_1 \mid \mu > \mu_0 + \Delta) \leq \beta$, де μ – очікуване середнє значення ймовірності банкрутства, отримане усередненням по числу прогонів моделі; μ_0 – гіпотетичне середнє (середнє значення показника ймовірності банкрутства, прийняте у якості нормативного); α і β – задані ймовірності помилкового відкидання або прийняття гіпотези; Δ – задане відхилення від нормального середнього.

Спочатку візьмемо вибірку із n_0 вимірювань і обчислимо вибірову дисперсію.

$$a(\delta) \leq 1.25 - \ln\left(\frac{1}{\delta}\right), \text{ де } a(\delta) = \left[\frac{1}{\delta} - 1\right] \cdot \frac{f}{2}, \delta = \min(\alpha, \beta), f = n_0 - 1 \quad (1)$$

Потім кожен раз проводимо по одному виміру і припиняємо експеримент, відкидаючи гіпотезу H_0 як тільки виконується умова:

$$\sum_{j=1}^n (X_j - \mu_0 - \frac{\Delta}{2}) > \frac{S^2 a(\alpha)}{2d} - n(\frac{\Delta}{2} - d), \quad (2)$$

Експеримент припиняється і гіпотеза H_0 приймається, якщо

$$\sum_{j=1}^n (X_j - \mu_0 - \frac{\Delta}{2}) < \frac{-S^2 a(\beta)}{2d} + n(\frac{\Delta}{2} - d), \quad (3)$$

де $d = \frac{3\Delta}{8}$.

де μ – очікуване середнє значення критеріальної змінної отримується шляхом усереднення по кількості прогонів моделі, які будуть проведені, перш ніж імітаційний експеримент завершиться; μ_0 – середнє значення критеріальної змінної, прийняте у якості нормативного.

Межі застосування α , β оберемо такі: $\alpha=0.01-0.05$; $\beta=0.1-1$. Варіюючи значення α , β , Δ , μ_0 , виявляється чутливість процедури до значень цих параметрів. Наведемо послідовність проведення одного експерименту.

Розглянемо широкий спектр гіпотетичних середніх. Перевірялись гіпотези: $H_0 | \mu \leq \mu_0$, $H_1 | \mu > \mu_0$, де μ_0 приймає значення 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, де оцінка середнього після 50 розрахунків складає 0.4582 із стандартним відхиленням $0.02/\sqrt{100} = 0.002$.

Гіпотези перевірялись при 10 різних комбінаціях величин α , β і Δ , щоб виявити чутливість процедури по відношенню до цих трьох параметрів. Для кожної комбінації обчислювався об'єм фіксованої вибірки. Точність задавалась оцінкою вибіркової дисперсії S^2 початковим n_0 спостереженням (табл. 2). Зауважимо, що об'єм фіксованої вибірки не залежить від відношення гіпотетичного середнього μ_0 до істинного. Точки плану експерименту в імітаційних розрахунках: $\alpha=0.05$, $\Delta=0.1$, $n_0=50$.

Таблиця 2

Аналіз результатів імітації

Номер експерименту	μ_0	s^2	Об'єм послідовної вибірки	Гіпотеза H_0
1	0,1	0,000370163	6	відхиляється
2	0,2	0,000092541	5	відхиляється
3	0,3	0,000123388	4	відхиляється
4	0,4	0,000185082	3	відхиляється
5	0,5	0,000370163	2	відхиляється
6	0,6	0,000092541	5	відхиляється
7	0,7	0,000061694	7	приймається
8	0,8	0,000123388	4	приймається
9	0,9	0,000370163	2	приймається
10	1	0,000185082	3	приймається

Висновок: в змістовному плані перевірка гіпотез дає змогу провести додаткову діагностику фінансового стану страхової компанії, а також отримати із заданою точністю показник «ймовірність банкрутства». Якщо гіпотеза H_0 відхиляється, то можна зробити висновок, що страхова компанія є економічно спроможною (фінансовий стан компанії задовільний), а у разі прийняття гіпотези H_0 існує ймовірність банкрутства (фінансовий стан компанії незадовільний).

Також зручною процедурою зупинки експерименту, яка теж належить до методів послідовного аналізу, є процедура «Визначення математичного очікування» [8]. Однак, в цій процедурі правило зупинки можна використовувати лише для великих $N(N>50)$. Крім того, для нього суттєвим моментом є те, що у випадку незалежних та однаково розподілених з середнім μ і дисперсією δ^2

випадкових величин x_i , де сума $\sum_{i=1}^n x_i$ має асимптотично нормальне розподілення з

середнім $n\mu$ і дисперсією $n\sigma^2$. Незалежність x_i величин, як і у випадку процедури Полсона, реалізується шляхом генерації кожного досліджу за допомогою нової послідовності випадкових чисел.

Розглянемо один з планів експерименту. Нехай, ϵ вибірка з n незалежних, однаково розподілених випадкових чисел x_1, x_2, \dots, x_n ймовірності банкрутства страхової компанії, отримані у результаті імітаційних експериментів, математичне очікування $\mu=0.15678$ та дисперсія $\delta^2=0.0011$ яких відомі, $\alpha=0.05$. Результати експериментів наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Аналіз результатів імітації плану експерименту

Номер експерименту	Правило зупинки, n
1	29
2	13
3	15
4	25
5	28

Таким чином, результати планування наведеного експерименту дають відповідь на питання – яку кількість запусків (прогонів) моделі необхідно здійснити, щоб з необхідною точністю отримати значення функції відгуку.

У проведених експериментах відгуком системи ϵ (як у випадку процедури Полсона, так і у випадку процедури «Оцінка математичного сподівання») ймовірність банкрутства страхової компанії.

План експерименту визначається в залежності від конкретної мети дослідження і експериментатора. Тривалість експерименту залежить від багатьох факторів: тривалості досліджуваної часової траєкторії; тієї стратегії управління страховою компанією, яка моделюється; об'ємом початкової інформації; вимог користувачів моделі (керівників та менеджерів страхової компанії), які формують вихід експерименту та ін.

Заключна обробка результатів прогонів моделі здійснюється за такими етапами: обчислення середніх значень вихідних показників (усереднення по числу проведених прогонів); ранжування отриманих експериментальних сукупностей (результатів прогонів моделі) по значенням вибраного критерію оцінки і визначення «оптимістичного» і «песимістичного» варіантів управління; визначення середньої величини критерію на множині його значень по всім прогонам; порівняння отриманих результатів по варіантам експериментування. Висновки і закономірності, отримані в результаті аналізу даних в ході імітаційного моделювання, використовуються як правила і рекомендації при управлінні страховою компанією.

Висновок. Для дослідження складних систем, до яких і відноситься страхова організація, з метою виявлення законів керованості, необхідне глибоке і всебічне вивчення реального об'єкту, яке у даному дослідженні проводиться за допомогою імітаційного моделювання, оскільки саме воно дозволяє накопичувати у необхідній кількості дані, використовувати економіко-математичні, статистичні методи для обробки накопичених даних. Такі дослідження потребують чіткого планування імітаційних експериментів і проведення обчислювальних експериментів.

Головні завдання проведеного планування експерименту – звести до мінімуму витрати на реальний експеримент, отримуючи при цьому якнайкращі статистично значущі оцінки моделі. Для обчислювального (машинного) експерименту до 90-х років основні критерії планування імітаційного експерименту практично співпадали з цілями реального експерименту, оскільки ЕОМ мали обмежені можливості (мала оперативна пам'ять, низька продуктивність і висока вартість машинного часу).

Сучасні інформаційні технології володіють необмеженими можливостями і витрати на проведення імітаційних експериментів практично незначущі в порівнянні з витратами на реальний експеримент, у такому разі критерій мінімізації витрат на проведення імітаційних експериментів втрачає сенс. Але є ряд особливостей планування імітаційних експериментів, без яких неможливо достовірно закінчити дослідження:

- при імітаційних експериментах практично немає обмежень на умови проведення експерименту (наприклад, на використання стохастичних величин у процесі моделювання);
- необхідність в створенні умов (інтерфейсів, СППР) для роботи фахівців-наочників з імітаційних експериментів;
- особливого значення набуває проблема зупинки імітаційних експериментів (коли зупинити імітаційний експеримент при заздалегідь невідомих статистичних характеристиках і відсутності обмежень на ресурси);
- проблема отримання статистично значимих результатів.

Питання планування імітаційного експерименту поки залишаються відкритими унаслідок відсутності стрункої теорії. Виявлені особливості планування імітаційного експерименту служать основою для побудови СППР та різного роду автоматизованих систем управління. А метод імітаційного моделювання стає одним з методів надійного проектування складних систем в досягненні високої якості управління.

Бібліографічні посилання

1. Соколовская З.Н. Моделирование экономического анализа деятельности предприятия: монография / З.Н. Соколовская. – Одесса, 1996. – 280 с.
2. Соколовська З.М. Комп'ютерне моделювання складних економічних систем : [монографія] / З.М. Соколовська, О.А. Клепікова. – Одеса : Астропринт, 2011. – 512 с.
3. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / В.Ф. Ситник. – К. : КНЕУ, 2004. – 614 с.
4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Г.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб : Питер, 2000. – 384 с.
5. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов / Н.Н. Лычкина. – М.: Академия АйТи, 2005. – 164 с.
6. Яцкив И.В. Проблема валидации имитационной модели и ее возможные решения / И.В. Яцкив // Материалы конференции ИММОД. – 2003. – С. 211-217.
7. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании / Дж. Клейнен; [пер. с англ. О.П. Адлера, К.Д. Аргуновой, В.Н. Варыгина, А.М. Талалая]. – М. : Статистика, Вып.1. – 1978. – 221 с.
8. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании / Дж. Клейнен; [пер. с англ. О.П. Адлера, К.Д. Аргуновой, В.Н. Варыгина, А.М. Талалая]. – М. : Статистика, Вып.2. – 1978. – 335 с.
9. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1975. – 502 с.

Надійшла до редакції 26.12.2013