

Висновки з проведеного дослідження. Співставний аналіз поточного стану та результатів прогнозування розвитку туристично-рекреаційної сфери України за показниками обсягів туризму та оздоровлення в санаторно-курортних і оздоровчих закладах України показує, що суттєвий вплив на стан сфери справляє наявність природних туристично-рекреаційних ресурсів – у першу чергу, морських узбереж. Саме приморські регіони, а також міста з високою концентрацією культурно-історичних та архітектурних пам'яток (м. Київ, Львівська, Чернівецька, Івано-Франківська, Закарпатська області) мають найбільший потенціал розвитку туристично-рекреаційного комплексу та здатні суттєво поліпшити рівень соціального та економічного розвитку цих регіонів. У зв'язку з цим перспективними напрямками подальших наукових досліджень слід визначити оцінку і напрями ресурсного забезпечення розвитку туристично-рекреаційної сфери, виокремлення типових груп регіонів, формулювання оптимальних шляхів модернізації організаційно-економічного механізму розв'язання основних проблем сфери.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Туристична діяльність в Україні у 2012 році. Статистичний бюлетень. – Київ : Держава служба статистики України, 2013. – 272 с.
2. International Recommendations for Tourism Statistics 2008. ST/ESA/STAT/SER.M/83/Rev.1. – New York : United Nations, 2010. – 145 p.
3. Гуменюк Ю. Удосконалення управління рекреаційно-туристичним комплексом регіону / Гуменюк Ю. П. // Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Зб. наук. праць. Вип. 3 (XLVII) НАН України. IPД. Частина I. – Львів, 2004. – С. 435-441.
4. Мацола В. Рекреаційно-туристичний комплекс України / Мацола В. І. – Львів, 1997. – 259 с.
5. Черчик Л. Стратегічний потенціал рекреаційної системи регіону: теорія, методологія, оцінка : монографія / Черчик Л., Коленда Н. – Луцьк : ЛНТУ, 2008. – 224 с.
6. Нудельман М. Социально-экономические проблемы рекреационного природопользования / Нудельман М. С. – К. : Наукова думка, 1987. – 132 с.
7. Новикова В. Оптимізація рекреаційної діяльності як важлива умова збалансованого розвитку регіону / Новикова В. // Регіональні студії : зб. наук. праць. – Ніжин, 2007. – С. 263-270.
8. Луганська Т. Розвиток рекреаційно-туристичної діяльності на регіональному рівні / Луганська Т., Кампов Н. // Регіональні студії : зб. наук. праць. – Ніжин, 2007. – С. 178-185.
9. Щепанський Е. Рекреаційне районування Хмельниччини / Щепанський Е. В. // Формування ринкових відносин в Україні. – 2002. – Вип. 18. – С. 182-185.
10. Общая теория статистики : учебник / Под ред. И. И. Елисеевой. – 5-е изд. – М. : Финансы и статистика, 2004. – с. 445-525.
11. Санаторно-курортне лікування, організований відпочинок та туризм в Україні. Статистичний бюлетень. – Київ : Державна служба статистики України, 2011. – 91 с.

УДК 330.46:519.71

Клепікова О.А.

*кандидат економічних наук,
доцент кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій
Одеського національного політехнічного університету*

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ТЕСТУВАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена питанням випробування і дослідження властивостей імітаційної моделі. Проведено огляд методів для оцінки адекватності, точності, стійкості результатів імітаційного моделювання. Запропоновано комплексний підхід до тестування імітаційної моделі.

Ключові слова: економічна система, імітаційна модель, імітаційне моделювання, валідація моделі, верифікація моделі, аналіз чутливості імітаційної моделі.

Клепікова О.А. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ТЕСТИРОВАНИЮ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статья посвящена вопросам испытания и исследования свойств имитационной модели. Проведен обзор методов для оценки адекватности, точности, устойчивости результатов имитационного моделирования. Предложен комплексный подход к тестированию имитационной модели.

Ключевые слова: экономическая система, имитационная модель, имитационное моделирование, валидация модели, верификация модели, анализ чувствительности имитационной модели.

Klepikova O.A. COMPREHENSIVE APPROACH TO TESTING COMPUTER SIMULATION MODELS OF COMPLEX ECONOMIC SYSTEMS

The article deals trials and study the properties of computer simulation model. Have reviewed methods for assessing the adequacy, accuracy, robustness of computer simulation results. Comprehensive approach was offered to testing the simulation model.

Keywords: economic system, computer simulation model, computer simulation, validation of the model, verification of model, sensitivity analysis of computer simulation model.

Постановка проблеми. Зростання конкуренції на світовому ринку приводить до значного посилення вимог щодо процесів управління виробництвом. Рішення цієї задачі для сучасного наукомісткого виробництва, яке характеризується високою складністю технологій проектування, інженерного аналізу, випуску продукції і управління діяльністю, потре-

бує проведення великого об'єму науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, застосування нових матеріалів, скороченням тривалості і вартості створення складної продукції, використання сучасних підходів і методів організації і управління виробництвом. Передові світові компанії сфокусували свою увагу на максимальному використанні наявних

знань, інтелектуальних, організаційних, матеріально-технічних можливостей для забезпечення конкурентоспроможності в тривалій перспективі.

Досягнення всього перерахованого потребує рішення цілого комплексу проблем організаційного, технічного, соціально-економічного характеру, які погано піддаються строгому математичному опису. В цих умовах перспективним представляється використання методів імітаційного моделювання [3; 5].

Оскільки імітаційне моделювання пов'язано з рішенням реальних економічних задач, то необхідно бути впевненим, що кінцеві результати моделювання точно відображають реальний стан процесів. Для цього необхідно оцінити, наскільки модель і дані, отримані на її основі, можуть бути корисні у процесі прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню різних аспектів проблеми оцінки достовірності імітаційної моделі приділяли і приділяють багато уваги відомі вчені і спеціалісти в області імітаційного моделювання: Ю.М. Адлер, Н.П. Бусленко, С.В.Емельянов, Р. Фішер, Т. Нейлор, Н.Н. Личкіна, Дж. Клейнен, Р. Шеннон, З.М. Соколовська, В.Ф. Ситник та ін.

Аналіз наведених досліджень дає змогу зробити висновок, що проблема оцінки достовірності імітаційної моделі є багатоетапним та складним процесом, потребує застосування різноманітних методів математичної статистики. На сьогодні немає строгих алгоритмів її вирішення.

Постановка завдання. Таким чином, дослідження властивостей імітаційної моделі, таких як проведення аналізу чутливості імітаційної моделі, оцінка точності та стійкості результатів моделювання, оцінка адекватності моделі (верифікація, валідація моделі) є необхідними і важливими завданнями у процесі розробки та застосування імітаційної моделі для складних економічних систем, що і обумовило вибір теми дослідження і її актуальність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Метод імітаційного моделювання – це один із найбільш ефективних методів вивчення як практично функціонуючих економічних об'єктів будь-якої природи і ступеня складності, так і об'єктів, що знаходяться у процесі розробки. Сутність цього методу полягає в побудові імітаційної моделі досліджуваного об'єкту і в цілеспрямованому експериментуванні з цією моделлю для вивчення поведінки в різних умовах [3; 5; 6].

У порівнянні з іншими методами імітаційного моделювання дозволяє розглядати велику кількість альтернатив, покращувати якість управлінських рішень і точніше прогнозувати їх наслідки. Однією з причин застосування імітаційного моделювання для аналізу економічної системи полягає в пошуку наукових знань про поведінку досліджуваної системи. Ідея імітаційного моделювання дає можливість користувачеві експериментувати з економічними системами у тих випадках, коли робити це на реальному об'єкті дуже складно або недоцільно.

Основною метою імітаційних експериментів є [6; 7]:

1. Відпрацювання існуючих або проєктованих економічних систем шляхом планування, змін та управління набором параметрів як ендогенних, так і екзогенних. При цьому може бути оцінений можливий ефект від зміни в організації реальної системи, її функціонування, взаємовідносини між підсистемами та ін.

2. Перевірка певних гіпотез про поведінку реальної системи.

3. Прогнозування та перспективне планування, при яких оцінюється поведінка економічної системи при деякому передбачуваному поєднанні умов та ситуацій.

4. Проведення аналізу чутливості системи до зміни параметрів; визначення на цій основі найбільш важливих (значущих) параметрів.

5. Розробка імітаційної моделі-тренажеру. На імітаційній моделі-тренажері можуть «програватись» управлінські рішення щодо формування бізнес-стратегії та їх можливі наслідки, вивчення тенденцій розвитку економічної системи.

6. Рішення складних математичних задач (із застосуванням стохастичних чинників), які не можуть бути вирішені аналітичними методами.

7. Оперативне управління виробничими процесами складних економічних систем, вироблення управлінських рішень в реальному часі, що стосуються коригування розкладу робіт, перерозподілу ресурсів, фінансового управління, соціально-економічних завдань та ін.

8. Проведення факторного аналізу. Виявлення функціональних співвідношень, тобто визначення природи залежності між двома або кількома важливими чинниками з одного боку і відгуком системи з іншого.

9. Оцінка – визначення, наскільки добре економічна система пропонованої структури буде відповідати деяким конкретним критеріям.

На практиці виділяють три основні категорії оцінки: оцінка адекватності або валідація моделі, верифікація моделі, валідація даних.

В залежності від складності імітаційної моделі, ступеня невизначеності характеристик моделі можуть мати місце різні по характеру способи проведення досліджень по надійності та достовірності імітаційної моделі. Комплексний підхід до тестування імітаційної моделі, на нашу думку, повинен містити такі етапи:

- перевірка адекватності моделі;
- верифікація імітаційної моделі;
- валідація даних імітаційної моделі;
- оцінка точності результатів моделювання;
- оцінка стійкості результатів моделювання;
- аналіз чутливості імітаційної моделі;
- тактичне планування імітаційних експериментів.

Більш детально зупинимось на перевірці адекватності моделі. Перевірка адекватності моделі – це відповідь на питання про те, наскільки модель добре представляє об'єкт дослідження.

Оцінка адекватності або валідація моделі – підтвердження того, що модель в межах області дослідження веде себе з задовільною точністю в відповідності з цілями та завданнями моделювання.

Верифікація моделі – перевірка на відповідність поведінки моделі замислу дослідника і моделювання. Мета процедури верифікації – визначити рівень, на якому можливо буде успішно досягнути цю узгодженість.

Валідація і верифікація імітаційної моделі пов'язані з обґрунтуванням внутрішньої структури моделі, досліджується внутрішня спроможність моделі. В ході цих процедур проводяться дослідження структури моделі і перевіряється виконання гіпотез.

Валідація даних направлена на доказ того, що всі дані, які використовуються в моделі, як вхідні, так і вихідні, володіють задовільною точністю і не суперечать досліджуваній системі, а значення змінних моделі точно визначені і коректно використовуються. Перевіряється правильність інтерпретації отриманих за допо-

могою імітаційної моделі даних, оцінюється наскільки можуть бути справедливі статистичні висновки, отримані в результаті імітаційного експерименту.

У процесі моделювання економічних процесів перш за все дослідника цікавить, наскільки добре імітаційна модель представляє об'єкт дослідження. Імітаційна модель, поведінка якої дуже відрізняється від поведінки досліджуваної економічної системи, повинна бути доопрацьована та виведена на прийнятний рівень.

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 (або, принаймні, досягнення прийнятного рівня впевненості в правильності таких висновків) щодо поведінки досліджуваної системи. Питання практичного використання цих стандартів розглядаються в [1; 2; 3]. До їх числа 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.

Один із підходів в оцінці адекватності полягає в порівнянні виходів моделі і реальної системи при однакових (якщо можливо) значеннях входів Дані, отримані на виході імітаційної моделі і дані, отримані в результаті експерименту з реальною системою – статистичні. Тому, як правило застосовують методи статистичної теорії оцінки і перевірки гіпотез.

Перевіряються гіпотези H_0 про те, що вибірки виходів системи і моделі являються вибірками із різних сукупностей або H_1 , що вони «практично» належать до одної сукупності.

Для перевірки придатності імітаційної моделі часто на практиці застосовується критерій Тейла [4]. Коефіцієнт Тейла U вимірює ступінь збігу простежитивного прогнозу P_i зі значеннями, що спостерігаються – A_i . Коефіцієнт U змінюється від 0 до 1. Якщо $U=0$, то прогноз повністю збувся; якщо $U=1$ – то прогноз поганий, тобто модель неадекватно відображає об'єкт.

Коефіцієнт розраховують таким чином:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (P_i - A_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum P_i^2 + \frac{1}{n} \sum A_i^2}}, \quad (1)$$

Також для оцінки адекватності можуть бути рекомендовані два основних підходи [2; 3]:

1) По середнім значенням відгуків моделі і системи. Перевіряється гіпотеза про близькість середніх значень кожної n -ї компоненти відгуків моделі Y_n відомим середнім значенням n -ї компоненти відгуків реальної системи $Y \cdot n$.

Проводять N_1 дослідження на реальній системі і N_2 дослідження на імітаційній моделі ($N_2 > N_1$). Оцінюють для реальної системи і імітаційної моделі математичне сподівання і дисперсію Y'_n, D'_n і Y_n, D_n відповідно.

Гіпотези про середнє значення перевіряються за допомогою критеріїв узгодження. Наприклад, продемонструємо використання t -статистики. Основою перевірки гіпотез являється $E_n = (Y_n - Y'_n)$, оцінка її дисперсії:

$$D_{pn} = \frac{(N_1 - 1)D_n + (N_2 - 1)D'_n}{N_1 + N_2 - 2}, \quad (2)$$

t -статистика:

$$t_n = (Y_n - Y'_n) \sqrt{\frac{N_1 N_2}{D_{pn}(N_1 - N_2)}} \quad (3).$$

Із таблиці розподілення t -статистики з числом ступенів свободи: $\gamma = N_1 + N_2 - 2$ (зазвичай з рівнем значимості $\alpha = 0.05$) знаходять критичні значення t_{kp} . Гіпотеза про близькість середніх значень n -ї компоненти відгуків моделі і системи приймається, якщо $t_n \leq t_{kp}$. Наведений процес продовжується по всім n -компонентам вектора відгуків.

2) По дисперсіям відхилень відгуків моделі від середнього значення відгуків систем. Проводиться порівняння дисперсії з допомогою критерію F (перевіряють гіпотези про узгодженість) з допомогою критерію узгодженості χ^2 (при великих вибірках, $n > 100$), критерію Колмогорова-Смирнова (при малих вибірках, коли відомі середнє і дисперсія сукупності), Кокрена та ін.

Перевіряється гіпотеза про значущість відмінностей двох дисперсій: D_n^* і D_n .

Складається F -статистика: $F = D_n / D_n^*$ (задаються зазвичай рівнем значимості $\alpha = 0.05$, при ступенях свободи $\gamma_1 = \gamma_2 = N_1 = N_2$) по таблицям Фішера для F -розподілення знаходять F_{kp} . Якщо $F > F_{kp}$, то гіпотеза про значущість відмінностей двох оцінок дисперсій приймається, значить – відсутня адекватність реальної системи і імітаційної моделі по n -й компоненті вектора відгуку. Аналогічно процедура повторюється по всім компонентам вектора відгуку. Якщо хоча б по одній компоненті адекватність відсутня, то модель неадекватна. Якщо знайдені незначні відхилення в моделі, то може проводитися калібровка імітаційної моделі (вводяться поправочні, калібровочні коефіцієнти в моделюючий алгоритм) з метою забезпечення адекватності.

Можуть використовуватись і інші підходи до проведення валідації імітаційної моделі [3; 7]. В окремих випадках корисна валідація, коли перевіряється наскільки модель адекватна з точки зору спеціалістів, які будуть з нею працювати. В процесі валідації потребується постійний контакт з замовником моделі, дискусії з експертами по системі. Важливим інструментом валідації імітаційної моделі є графічне представлення проміжних результатів і вихідних даних, а також анімація процесу моделювання.

Для проведення верифікації імітаційної моделі можуть застосовуватись наступні прийоми [3; 7]:

- тестування моделі для критичних значень і при настанні рідких подій;
- фіксування значень для деяких вхідних параметрів з подальшим порівнянням вихідних результатів з наперед відомими даними;
- варіація значеннями вхідних і внутрішніх параметрів моделі з подальшим порівняльним аналізом поведінки досліджуваної системи;
- реалізація повторних прогонів моделі з незмінними значеннями всіх вхідних параметрів;
- оцінка фактично отриманих в результаті моделювання розподілень випадкових величин і оцінок їх параметрів (математичне сподівання і дисперсія) з апріорно заданими значеннями;
- порівняння результатів імітаційної моделі з результатами уже існуючих моделей, для яких доказана достовірність;
- для існуючої реальної досліджуваної системи проводиться порівняння отриманого прогнозу з прогнозом реального спостереження.

Для валідації даних імітаційної моделі використовують наступні процедури:

- оцінка чутливості імітаційної моделі;

- оцінка точності результатів моделювання;
- оцінка стійкості результатів моделювання.

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.

Методика оцінки чутливості наступна.

По кожному чиннику X визначається інтервал зміни ($\min X_q, \max X_q$). Решта компонентів вектору X не змінюється і відповідає центральній точці. Проводять пару модельних експериментів і отримують відгуки моделі ($\min Y, \max Y$ відповідно). Для оцінки чутливості використовують як абсолютні, так і відносні значення. В останньому випадку обчислюють прирощення вектора параметрів

$$\delta X_q^0 = \frac{(\max X_q - \min X_q)^2}{(\max X_q + \min X_q)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

і обчислюються прирощення вектору відгуку:

$$\delta Y_q = \frac{(\max Y_q - \min Y_q)^2}{(\max Y_q + \min Y_q)} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Вибирають $\delta Y_q^0 = \max\{\delta Y_n\}$.

Чутливість моделі по q -компоненті вектору параметрів X визначають парю значень $(\delta X_q^0, \delta Y_q^0)$.

У сучасних системах імітаційного моделювання проведення аналізу чутливості добре автоматизовано [5]. Як правило, аналіз чутливості проводиться графічно із збереження результатів усіх прогонів.

Точність імітації явищ є оцінкою впливу стохастичних елементів на функціонування моделі складної економічної системи. Ступінь точності визначається величиною флуктуації випадкового чинника (дисперсією). Мірою точності є довірчий інтервал.

Для визначення точності результатів імітації оцінюються довірчі інтервали [1; 2; 3; 4]. Якщо отримана оцінка дійсного середнього μ сукупності, то визначається верхня і нижня межі інтервалу, так, щоб ймовірність попадання дійсного середнього в інтервал, ув'язаний між цими межами, дорівнювала деякій заданій величині (α – довірча ймовірність) таким чином:

$$P\{\bar{x} - d < \mu < \bar{x} + d\} = 1 - \alpha, \quad (6)$$

де \bar{x} – вибіркве середнє, $1 - \alpha$ – ймовірність того, що інтервал $\mu \pm d$ містить X .

Під стійкістю результатів імітації розуміється ступінь нечутливості її до зміни умов моделювання [1; 3; 4].

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.

Може бути рекомендована наступна методика оцінки стійкості. В модельний час з кроком t контролюються вихідні параметри Y . Оцінюється амплітуда змін параметру Y . Зростання розкиду параметру, що контролюється від початкового значення при зміні $t + \Delta t$ вказує на нестійкий характер імітації досліджуваного процесу.

Для перевірки статистичної гіпотези про рівність дисперсій значень відгуків для досліджень з різною тривалістю прогонів імітаційної моделі може бути використано критерій Бартлетта [2; 3].

Гіпотеза H_0 , що перевіряється про сталість дисперсії k вибірок має вигляд:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2. \quad (7)$$

Конкуруюча з нею гіпотеза H_1 :

$$H_1: \sigma_{i_1}^2 \neq \sigma_{i_2}^2, \quad (8)$$

де нерівність виконується принаймні для однієї пари індексів i_1 та i_2 .

Методика незміщеної оцінки k дисперсій нормальних генеральних сукупностей наступна:

1. Встановлюється тривалість прогону ($0, t^{\text{мод}}$).
2. Вибирається компонента вектору відгуку y_i , яку необхідно контролювати.
3. Задається крок Δt .
4. На кожному кроці контролюється y_i , оцінюється дисперсія та ін.

Формулюється нулева статистична гіпотеза: про рівність дисперсій Бартлетта. $B_{\text{расч}}$ порівнюється з тестовою. Статистика критерію Бартлетта обчислюється таким чином:

$$B = \frac{1}{C} \left(\int \ln S^2 - \sum_{i=1}^k f_i \ln S_i^2 \right), \text{ де} \quad (9)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k f_i S_i^2, \text{ де} \quad (10)$$

$$f = \sum_{i=1}^k f_i, \quad f_i = n - 1, \quad (11)$$

де n – об'єм вибірки, S_i^2 – оцінки вибіркових дисперсій. Якщо $B > \chi^2$, то H_0 приймається. Рахується, що модель стійка по i -й компоненті вектору відгуку і т. д. по всім компонентам.

У випадку вдалої перевірки вважається, що модель стійка по всьому вектору вихідних змінних.

Вказані процедури потребують проведення широкого спектру тестових імітаційних експериментів, відповідно до сценаріїв розроблених в процесі як тактичного, так і стратегічного планування.

Висновки з проведеного дослідження. Всі розглянуті процедури в комплексі дають необхідну інформаційну базу для забезпечення довіри до розробленої імітаційної моделі і переходу до наступних етапів роботи з моделлю – практичним застосуванням та прийняття рішення в економічних дослідженнях.

Комплексний підхід до тестування імітаційної моделі необхідний для того, щоб модель використовувалася як могутній засіб в науково-практичних дослідженнях, в задачах аналізу і синтезу складних економічних і технічних систем або пошуку ефективних рішень в складних розробках, проектах, нових економічних програмах. В даний час імітаційні моделі широко застосовуються для прогнозування розвитку економічних систем різного ступеню складності.

Імітаційне моделювання пропонує сукупність методологічних підходів і розвинених технологічних засобів, які використовуються для підготовки, аналізу і прийняття рішень економічного, технічного, управлінського та соціально-економічного характеру.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. 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.
2. 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.
3. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов / Н.Н. Лычкина. – М. : Академия АйТи, 2005. – 164 с.
4. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1975. – 502 с.

5. Соколовська З.М. Комп'ютерне моделювання складних економічних систем : [монографія] / З.М. Соколовська, О.А. Клепикова. – Одеса : Астропринт, 2011. – 512 с.
6. Применение имитационных моделей в экономическом прогнозировании [Электронный ресурс]. – Режим доступу : <http://old.nasledie.ru/persstr/persona/samarykov/article.php?art=6>.
7. Яцків І.В. Проблема валидации имитационной модели и ее возможные решения / И.В. Яцків // Материалы конференции ИММОД. – 2003. – С. 211-217.

УДК 004.942:519.876.5:658.5

Копішинська О.П.

*кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри інформаційних систем і технологій
Полтавської державної аграрної академії*

Калініченко А.В.

*доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри інформаційних систем і технологій
Полтавської державної аграрної академії*

Шестаченко К.В.

*студентка факультету економіки та менеджменту
Полтавської державної аграрної академії*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ПРИ ОПТИМІЗАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННІ УПРАВЛІНСЬКИХ ЗАДАЧ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті показано можливість використання одного з популярних методів імітаційного моделювання – методу Монте-Карло – для розв'язання оптимізаційних задач про призначення, що мають місце в управлінні підприємствами. Робота містить оригінальну обчислювальну програму, складену на мові програмування VBA, а також результати моделювання за допомогою інших інструментів, зокрема Solver MS Excel, і висновки про ефективність різних методів.

Ключові слова: математичне моделювання, машинна імітація, метод Монте-Карло, рівномірно розподілені випадкові числа, програма-макрос, оптимізація.

Копишинская Е.П., Калининченко А.В., Шестаченко К.В. ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ПРИ ОПТИМИЗАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ЗАДАЧ О НАЗНАЧЕНИИ

В статье показана возможность использования одного из популярных методов имитационного моделирования – метода Монте-Карло – для решения оптимизационных задач о назначении, имеющих место в управлении предприятиями. Работа содержит описание оригинальной вычислительной программы, составленной на языке программирования VBA, а также результаты моделирования с помощью других инструментов, в частности Solver MS Excel, и выводы об эффективности различных методов.

Ключевые слова: математическое моделирование, машинная имитация, метод Монте-Карло, равномерно распределенные случайные числа, программа-макрос, оптимизация.

Kopishynska O.P., Kalanachenko A.V., Shestachenko K.V. STUDY OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION MONTE-CARLO SIMULATION AT THE OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION TASKS

The article shows the possibility of using one of the popular methods of simulation – Monte Carlo method – for solving optimization problems on the appointment taking place in the management of enterprises. The paper contains a description of the original computer program written in the programming language VBA, as well as simulation results using other tools, in particular Solver MS Excel, and conclusions about the effectiveness of various methods.

Keywords: mathematical modeling, machine simulation, Monte Carlo method, uniformly distributed random numbers, the macro, optimization.

Постановка проблеми. Більшість методів дослідження операцій є достатньо вивченими, розроблено низку рекомендацій щодо їх дієвості та доцільності застосування. Однак при побудові та вивченні конкретної об'єктної моделі, перш за все економічної, завжди постає питання саме вибору найефективнішого та найзручнішого методу розв'язання поставленої проблеми з урахуванням наявних програмних засобів та машинних ресурсів. Застосування методів імітаційного моделювання із використанням генераторів випадкових чисел при розв'язанні оптимізаційних задач є менш популярним, хоча має низку переваг у порівнянні з іншими методами економіко-математичного моделювання.

Постійно зростаючий рівень конкуренції змушує шукати нові методи утримання рентабельності підприємств та присутності на ринку. Таким чином, сучасна

інформаційна система повинна відповідати всім нововведенням у теорії та практиці менеджменту. У зв'язку з цим необхідно звернути увагу на побудову та використання економіко-математичних моделей, які базуються на програмному забезпеченні загального призначення та не потребують тривалого спеціального навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Економіко-математичне моделювання є універсальним інструментом аналізу та дослідження виробничих та фінансово-господарських процесів і явищ. Широке використання математичних методів є важливим напрямком удосконалення економічного аналізу, який підвищує ефективність діяльності підприємств та їхніх підрозділів. Основними причинами швидкого поширення методів економіко-математичного моделювання є різке удосконалення сучасної економіч-