

УДК 338

DOI: <https://doi.org/10.32782/СМІ/2024-9-6>**Дриньов Д.М.**старший науковий співробітник
науково-дослідного відділу перспектив розвитку
та проблем супроводження моделей операцій,
Національний університет оборони України**Мосьондз М.А.**начальник відділу експлуатації та ремонту фондів логістики,
Національний університет оборони України**Загородніх В.В.**старший науковий співробітник науково-дослідного відділу розробки
моделей операцій та бойових дій центру імітаційного моделювання,
Національний університет оборони України

ПОНЯТТЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

У статті проаналізовано поняття імітаційного моделювання та імітаційної моделі. З розвитком автоматизованих систем управління та збільшенням областей використання обчислювальної техніки постає більше різноманітних економічних і управлінських завдань, які потребують вирішення. Розробка адекватних моделей для цих завдань і розробка ефективних методів їх вирішення стають актуальними проблемами. Це особливо стосується завдань, що включають фактори невизначеності, динамічну взаємну залежність поточних рішень, подальших подій та складну взаємозалежність між факторами. Наголошено на тому, що імітаційне моделювання представляє собою метод проведення експериментів з використанням математичних моделей на електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ). Його основна мета полягає в відтворенні поведінки складних систем протягом тривалих періодів часу. Цей підхід базується на використанні властивостей наслідування, дозволяючи відтворювати процеси у досліджуваних системах за допомогою математичних моделей на ЕОМ.

Ключові слова: ЕОМ, модель, моделювання, імітація, імітаційне моделювання.

Drynov Dmytro, Mos'ondz Mykhaylo, Zahorodnykh Vytalii

National Defence University of Ukraine

CONCEPT OF SIMULATION AND SIMULATION MODEL

The concept of simulation modeling and a simulation model encompasses a fundamental aspect of problem-solving and analysis across various fields, from engineering and science to business and social sciences. Simulation modeling refers to the process of creating a computational model that replicates the behavior of a real-world system or process over time. This model is designed to mimic the dynamics, interactions, and characteristics of the actual system to allow for experimentation, prediction, and decision-making in a controlled virtual environment. A simulation model, on the other hand, is the specific instantiation of this concept. It is a mathematical representation of a system, often implemented through computer software, that simulates the behavior of the real-world system under different conditions or scenarios. This model typically consists of a set of rules, equations, algorithms, and parameters that govern the behavior and interactions of various components within the system. Simulation models can vary widely in complexity and scope, ranging from simple mathematical models to complex, multi-level, and multi-agent simulations. They can simulate a broad range of systems and processes, including manufacturing processes, traffic flow, population dynamics, financial markets, and more. Simulation modeling is a method of conducting experiments using mathematical models on electronic computers. Its main purpose is to reproduce the behavior of complex systems over long periods of time. This approach is based on the use of imitation properties, allowing to reproduce processes in the studied systems using mathematical models on a computer. The simulation model, in turn, is an expression of these mathematical models in the form of a special algorithm that reproduces phenomena and relationships in the system. This model can be applied to the analysis and research of complex processes, even those that may be informalized or involve human participation in decision-making. One of the main advantages of simulation modeling is its ability to work with a large amount of information that can be presented in various forms, including mathematical relationships, probability distribution functions, and others. The method also turns out to be convenient for studying random processes. In general, simulation modeling is a powerful tool for analysis and experimentation in various fields where complex systems require detailed study and reproduction of their dynamics and relationships.

Keywords: computer, model, simulation, simulation, simulation modeling.

Постановка проблеми. Різноманітні методи та моделі економіко-математичного аналізу є потужним і ретельно розробленим інструментарієм. Однак цей арсенал математичних прийомів не забезпечує повне охоплення всіх завдань планування та управління, які викликають практичний інтерес, а їх вирішення може базуватися на аналізі кількісних показників. У цьому

контексті йдеться про характер завдань, які дійсно виявляються ефективними при використанні зазначених методів або їх складніших модифікацій. Багато важливих практичних задач, включаючи оптимізаційні, не можуть бути вирішені економіко-математичними методами або виявляються недостатньо ефективними при їх використанні.

Однією з основних об'єктивних причин цього явища є обмежена роздільна здатність різних економіко-математичних моделей за такими аспектами, як рівень деталізації модельованих систем і процесів, а також наявність ефективних обчислювальних методів для аналітичного розв'язання. Зазвичай математичні моделі, використовувані для дослідження економічних систем, мають високий рівень абстракції, що забезпечує їх універсальність.

З розвитком автоматизованих систем управління та розширенням сфер застосування обчислювальної техніки появляється більше різноманітних економічних і управлінських задач, які потребують вирішення. Побудова адекватних моделей для цих завдань та розробка ефективних методів їх розв'язання стають насущними проблемами. Особливо це стосується завдань, які включають фактори невизначеності, динамічну взаємну обумовленість поточних рішень, подальших подій та комплексну взаємозалежність між факторами.

Такі завдання зазвичай мають значні розмірність та велику кількість внутрішніх зв'язків, тому їх не можна звести до відомих моделей типу математичного програмування або вирішити за допомогою традиційних методів математичного моделювання. Для вирішення таких задач широко використовується метод імітаційного моделювання на електронних обчислювальних машинах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Питанню щодо поняття імітаційного моделювання та імітаційної моделі були присвячені праці таких вчених як В. Б. Неруш, В. В. Курдеча, М. Г. Медведєв та інших.

У своїй роботі В. Б. Неруш та В. В. Курдеча розглянули поняття імітаційного моделювання систем та процесів. Автори представили конспект лекцій, який є електронним навчальним виданням. В цьому конспекті вони досліджують принципи та методи імітаційного моделювання, спрямовані на створення адекватних моделей для розв'язання різних економічних та управлінських завдань.

Автори звертають особливу увагу на завдання, які включають фактори невизначеності, динамічну взаємну обумовленість поточних рішень та подальших подій, а також комплексну взаємозалежність між факторами.

Формування цілей статті (постановка завдання).

Ціллю цього дослідження є аналіз поняття імітаційного моделювання та імітаційної моделі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Імітація представляє собою числовий метод виконання експериментів на електронних обчислювальних машинах з математичними моделями, які описують поведінку складних систем протягом тривалих періодів часу.

Цей підхід до імітаційного аналізу в економіко-математичному контексті базується на використанні властивості наслідування, тобто відтворення процесів в складних системах штучним шляхом за допомогою математичних моделей, реалізованих на електронних обчислювальних машинах. Математичні моделі, використовувані в імітації, можуть значно відрізнитися від традиційних [1].

Давайте розглянемо ці відмінності більш детально, виходячи з того, що дослідження реальних систем за допомогою математичних методів включає послідовні етапи та, як правило, пов'язане з досягненням

певної мети. Ці етапи включають постановку завдання, вивчення системи, збір емпіричної інформації, формування математичної моделі, розробку програмного забезпечення для розв'язання моделі, оцінку адекватності моделі та перевірку результатів.

Крім того, імітаційний аналіз передбачає планування багатоваріантних експериментів, вибір функціональних характеристик для дослідження, роботу з моделлю, проведення розрахунків і аналіз отриманих результатів для формування висновків та їх практичного використання.

Паралельно з аналітичними та чисельними методами розв'язування, які орієнтовані на традиційні математичні моделі, для використання імітаційних моделей використовується підхід до моделювання процесів на електронних обчислювальних машинах (ЕОМ) [2]. Цей метод включає використання особливого виду математичних моделей, а саме імітаційних моделей, у дослідженні.

Важливою особливістю імітаційного моделювання процесів на ЕОМ є те, що не обов'язково потрібно спеціально перетворювати математичну модель, яка виражена у взаємозв'язках між параметрами та змінними системи, до попередньо визначеного вигляду.

Імітаційне моделювання характеризується відтворенням явищ, описаних моделлю, зі збереженням їхньої логічної структури, послідовності змін у часі, а іноді навіть фізичного змісту. Це відтворення здійснюється за допомогою спеціальних моделюючих установок (апаратне моделювання) або засобів обчислювальної техніки [6].

У випадку використання ЕОМ забезпечується високий рівень подібності між математичними (кількісними) характеристиками реальних процесів та їхніми модельними відображеннями. На відміну від аналітичних та чисельних методів, зміст операцій при роботі з імітаційною моделлю майже не залежить від вибору величин, які визначаються [3].

Методи імітаційного моделювання мають певні принципові відмінності в способах використання математичних моделей, що наближають їх до методів фізичного моделювання та натурних експериментів на реальних системах. Ці відмінності можна наочно представити, враховуючи призначення математичних моделей, які реалізуються аналітичними та чисельними методами дослідження процесів, і імітаційних моделей.

Аналітичні моделі призначені, головним чином, для отримання рішення, яке визначає значення шуканих змінних на основі інформації, закладеної в моделі, про досліджувану систему. У відміну від них, імітаційні моделі призначені для отримання інформації про модельовану систему та вироблення відповідних оцінок, які можна використовувати для прийняття рішень. Вироблення рішень у цьому випадку зазвичай проводиться поза межами імітаційної моделі.

При створенні імітаційних моделей головною метою є узагальнення та деталізація наявних даних про досліджувану систему та її процеси. Це здійснюється на основі інформації про систему та взаємодіючі процеси, переводячи їх до такого рівня деталізації, при якому вони стають придатними для вироблення рішень у межах конкретних завдань дослідження системи. Зазвичай методи вирішення цих завдань в імітаційну модель не включаються прямим чином [4].

Основною особливістю методу імітаційного моделювання є можливість застосовувати ці моделі для опису та вивчення досить складних процесів, які практично можуть бути на межі можливості формалізації. Їх використовують і в тих випадках, коли частину процесів досліджуваної системи не формалізується взагалі. Це особливо важливо для процесів, які реалізуються в системі з участю людини, яка приймає рішення.

Використання методів імітації для дослідження системи та створення імітаційної моделі базується на максимальному використанні доступної інформації про систему в різних формальних виразах, таких як математичні відносини та залежності, а також у вигляді функцій розподілу ймовірності випадкових величин та інших методів.

У цьому контексті аналізується та використовується частина даних про систему, яку не можна отримати через відсутність інформації про поведінку системи у всіх можливих режимах або в межах зміни параметрів процесів, що вивчаються.

Для ефективного моделювання досліджуваного процесу на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) важливо, щоб математична модель цього процесу була виражена у формі спеціального моделюючого алгоритму. В рамках цього алгоритму буде створена інформація на ЕОМ, що описує елементарні явища досліджуваного процесу, враховуючи їх взаємозв'язки та взаємний вплив.

Зрозуміло, що явища, які відбуваються в реальному процесі та в процесі його моделювання на ЕОМ, досить суттєво різняться за фізичним змістом. Однак вони повинні бути схожі за структурою та характером інформації, що описує поведінку реальної системи та оброблюється ЕОМ під час імітації [5].

Реалізація імітаційного алгоритму на ЕОМ полягає у модельному відтворенні кількісних характеристик елементарних явищ, характерних для досліджуваного реального процесу. У цьому випадку відсутня необхідність лише в перетворенні початкової математичної моделі досліджуваної системи в форму, яка дозволяє аналітичне або чисельне розв'язання, але і в виборі віддаленого за структурою від самої моделі аналітичного або чисельного методу для її вирішення.

Розробка імітаційного алгоритму суттєво відрізняється від програмування методів аналітичного і чисельного вирішення математичних моделей на електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ). У цьому випадку процедури алгоритмізації визначаються змістом математичної моделі, а не чітким виокремленням множини шуканих величин.

У вирішенні звичайних математичних моделей можуть застосовуватися різноманітні пакети приклад-

них програм, які реалізують різні алгоритми для аналітичного та чисельного вирішення завдань. Однак програмування імітаційних моделей є складнішим завданням через особливості методу імітаційного моделювання.

Суттєво, що дослідник при роботі з імітаційною моделлю в основному займається спостереженням, реєстрацією та вимірюванням контрольованих параметрів процесів.

Моделюючий алгоритм повинен враховувати як кількісні характеристики досліджуваних реальних процесів, так і спеціальні програми для збору даних під час імітації. Крім того, алгоритм повинен дозволяти імітувати вплив на процес випадкових і неконтрольованих параметрів, що забезпечує відносну незалежність імітаційної моделі від прийнятого розділення даних.

Імітаційне моделювання також виявляється ефективним для дослідження випадкових процесів. Реалізація імітаційного алгоритму на ЕОМ вимагає представлення його у вигляді машинних програм, які реалізують процедури імітації, збір даних і введення-виведення. Програмування імітаційних алгоритмів може здійснюватися універсальними мовами програмування або спеціалізованими мовами імітаційного моделювання.

Висновки. Таким чином, імітаційне моделювання представляє собою метод проведення експериментів з використанням математичних моделей на електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ). Його основна мета полягає в відтворенні поведінки складних систем протягом тривалих періодів часу. Цей підхід базується на використанні властивостей наслідування, дозволяючи відтворювати процеси у досліджуваних системах за допомогою математичних моделей на ЕОМ.

Імітаційна модель, у свою чергу, є вираженням цих математичних моделей у вигляді спеціального алгоритму, який відтворює явища та взаємозв'язки в системі. Ця модель може застосовуватися для аналізу та дослідження складних процесів, навіть тих, які можливо неформалізується чи викликає участь людини у прийнятті рішень.

Однією з основних переваг імітаційного моделювання є його здатність працювати з великою кількістю інформації, яка може бути представлена у різних формах, включаючи математичні співвідношення, функції розподілу ймовірності, та інші. Метод також виявляється зручним для дослідження випадкових процесів.

Загалом, імітаційне моделювання є потужним інструментом для аналізу та експериментів у різноманітних областях, де складні системи вимагають докладного вивчення і відтворення їхньої динаміки та взаємозв'язків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Неруш В. Б., Курдеча В. В. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій. Київ : НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. 115 с.
2. Медведєв М. Г., Пашенко І. О. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник. Київ : Ліра-К., 2017. 536 с.
3. Заяць В. М., Камінський Р. М. Методи розпізнавання образів : Навч. посіб. для студ.; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». Львів, 2004. 173 с.
4. Uryvsky L. Complex analytical model of priority requires service on cloud server. L. Uryvsky, K. Martynova. International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 09-13 September 2019, Odesa, Ukraine. IEEE, 2020. P. 1–4.
5. Marsaglia G. The ziggurat method for generating random variables. George Marsaglia, Wai Wan Tsang. *Journal of Statistical Software*. 2000. Vol. 5. No. 8. P. 1–7.

6. A. Neumaier, *Mathematical Model Building*, Chapter 3 in: *Modeling Languages in Mathematical Optimization* (J. Kallrath, ed.), Applied Optimization, Vol. 88, Kluwer, Boston 2004.

REFERENCES

1. Nerush V. B., Kurdecha V. V. (2012). *Imitatsiine modeliuвання system ta protsesiv: Elektronne navchalne vydannia* [Simulation modeling of systems and processes: Electronic educational edition]. *Konspekt lektsii*. Kyiv: NN ITS NTUU «KPI», 115 p.
2. Medvedev M. G., Pashchenko I. O. (2017). *Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka: pidruchnyk* [Probability theory and mathematical statistics: a textbook]. Kyiv: Lira-K, 536 p.
3. Zayats V. M., Kaminskyi R. M. (2004). *Metody rozpoznavannia obraziv: Navch. posib. dlia stud.* [Pattern recognition methods: Teaching. manual for students]. National Lviv Polytechnic University. Lviv, 173 p.
4. Uryvsky L., Martynova K. (2020). Complex analytical model of priority requires service on cloud server. *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, 09–13 September 2019, Odessa, Ukraine. IEEE. P. 1–4.
5. Marsaglia G. (2000) The ziggurat method for generating random variables. George Marsaglia, Wai Wan Tsang. *Journal of Statistical Software*. Vol. 5. No. 8. P. 1–7.
6. A. Neumaier, *Mathematical Model Building*, Chapter 3 in: *Modeling Languages in Mathematical Optimization* (J. Kallrath, ed.), Applied Optimization. Vol. 88. Kluwer, Boston 2004.