

УДК 338

DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.75-37>

**Загородніх В.В.**

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу  
розробки моделей операцій та бойових дій  
центру імітаційного моделювання  
*Національний університет оборони України*

**Мельник Я.В.**

заступник начальника центру,  
начальник науково-дослідного відділу  
розробки моделей операцій та бойових дій  
*Національний університет оборони України*

**Осташевський І.І.**

науковий співробітник науково-дослідного відділу  
розробки операцій та бойових дій  
центру імітаційного моделювання  
*Національний університет оборони України*

**Zahorodnikh Vitalii**

Senior Researcher of the Research Department  
for the Development of Models of Operations  
and Combat Operations of the Simulation Simulation Center  
*National Defence University of Ukraine*

**Melnyk Yaroslav**

Deputy Head of the Center,  
Head of the Research Department  
for the Development of Models of Operations and Combat Operations  
*National Defence University of Ukraine*

**Ostashevskiy Ihor**

Researcher of the Research Department  
of the Development of Operations and Combat Operations  
of the Simulation Modeling Center  
*National Defence University of Ukraine*

## СУТНІСТЬ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### THE ESSENCE OF SIMULATION MODELING

У статті досліджено питання щодо сутності імітаційного моделювання, є актуальним, особливо в контексті розвитку науково-технічного прогресу, інформаційних технологій, а також в економіці, соціології, біології, медицині та інших галузях. Зазначено про те, що широке застосування імітаційного моделювання стало реальністю на певному етапі розвитку інформаційних технологій, що включають засоби збору, передачі, обробки та зберігання інформації. Під цими засобами розуміються не лише комп'ютери, але також інструменти обчислювальної математики, різнорівневі засоби програмування, системи управління базами даних, банки даних і інші. Імітаційна модель представляє собою складну математичну та алгоритмічну структуру, яка призначена для дослідження певної системи. Метод, який заснований на створенні та аналізі імітаційних моделей, отримав назву «машинна імітація» або «імітаційне моделювання».

**Ключові слова:** моделювання, система, машинна імітація, імітаційне моделювання, імітаційна модель.

The article examines the issue of the essence of simulation modeling. As our world grows increasingly complex, understanding and managing intricate systems become more challenging. Imitative modeling offers a way to simplify and study these systems, providing valuable insights into their behavior and interactions. Advancements in technology, particularly in computing power and simulation software, have made imitative modeling more sophisticated and accessible. This technological progress enables more accurate and detailed simulations, enhancing the value and applicability of modeling across various fields. Imitative modeling provides a tool to simulate different scenarios, evaluate options, and optimize outcomes, thus supporting better decision-making processes. Furthermore, imitative

modeling drives innovation by identifying new approaches or configurations that optimize performance. Whether it's designing a new product, improving a manufacturing process, or optimizing a supply chain, modeling can help find the best solutions to complex problems. Addressing global challenges such as climate change, environmental sustainability, public health, and urban planning requires informed strategies and policies. Imitative modeling can play a crucial role in this by simulating the impact of different interventions or policies, thereby informing better approaches to tackle these pressing issues. Additionally, imitative modeling serves as a valuable educational tool, helping students understand complex concepts and theories through practical application. It also supports research by providing a framework for hypothesis testing, data analysis, and validation. It is noted that the widespread use of simulation modeling became a reality at a certain stage of the development of information technologies, which include means of collecting, transmitting, processing and storing information. These means include not only computers, but also computational mathematics tools, multi-level programming tools, database management systems, data banks, and others. The simulation model is a complex mathematical and algorithmic structure, which is intended for the study of a certain system. The method, which is based on the creation and analysis of simulation models, is called "machine simulation" or "simulation modeling".

**Key words:** simulation, system, machine simulation, simulation model, simulation model.

**Постановка проблеми.** Модель, яка може передбачати значення внутрішніх характеристик, повинна бути замкнутою. Замкнута модель – це модель, у якій її співвідношення дозволяють обчислювати внутрішні характеристики при відомих зовнішніх. Процедура визначення зовнішніх характеристик моделі відома як «ідентифікація» або «калібрування».

Імітаційне моделювання відрізняється тим, що воно передбачає вивчення механізму функціонування складної системи через обчислювальний експеримент на комп'ютері та обробку отриманих результатів.

Імітаційне моделювання не виключає використання аналітичних моделей при неповній інформації про систему. Воно є способом розширення сфери застосування аналітичних моделей в умовах ускладненого дослідження.

Технологічний аспект математичного моделювання в імітаційному процесі вкрай помітний. Це включає методи та процеси обробки, зміни стану та властивостей сировини чи матеріалу.

Технологія імітаційного моделювання може розглядатися як засіб отримання нової інформації, зокрема значень внутрішніх характеристик моделі, порівняно з тією, яку маємо в наявності – значень зовнішніх характеристик.

Важливим моментом у впровадженні імітаційних моделей в наукові дослідження є або висока вартість реальних експериментів, або неможливість їх проведення. Наприклад, заборона випробувань ядерної зброї призвела до розвитку математичної і комп'ютерної імітації ядерних вибухів. Також, дослідження соціально-політичних процесів подібно до вивчення ядерних реакцій, де практичні масштабні експерименти з суспільством неможливі з моральних міркувань.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Питанню щодо сутності імітаційного моделювання були присвячені праці таких вчених як Ситник В.Ф., Орленко Н.С. та інших.

Книга «Імітаційне моделювання: Навчальний посібник» авторства Ситника В.Ф. та Орленко Н.С. є важливим джерелом інформації з імітаційного моделювання, яка видана Київським національним економічним університетом у 1998 році. Книга присвячена вивченню та розумінню основ імітаційного моделювання.

У цьому навчальному посібнику детально описані принципи імітаційного моделювання, методи та техніки його застосування, а також практичні приклади з різних галузей, де можна використовувати цей підхід.

Книга «Моделювання інвестиційної діяльності» автора Жадлуна З.О., видана у Києві Національним авіаційним університетом у 2009 році, є джерелом інформації з імітаційного моделювання інвестиційних процесів. У цій книзі розглядаються основні підходи та методи моделювання в інвестиційній сфері, а також аналізуються різні аспекти інвестиційних рішень на основі імітаційних моделей.

**Формулювання завдання дослідження.** Мета статті є висвітлення та аналіз сутності імітаційного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. У широкому розумінні імітаційне моделювання представляє собою процес створення моделі реальної системи та проведення експериментів з цією моделлю з метою вивчення поведінки системи або оцінки різних стратегій, які забезпечують її функціонування, враховуючи обмеження, визначені певним критерієм або сукупністю критеріїв. У вузькому розумінні імітаційне моделювання представляє собою відтворення реальної виробничої або організаційної системи на електронно-обчислювальній машині. За таким визначенням термін «імітаційне моделювання» можна розглядати як еквівалент термінів «машинна імітація» або «машинне моделювання», що відповідають експериментальному методу вивчення економіки за допомогою електронно-обчислювальних машин [1].

Важливо відзначити, що в даному напрямку моделювання не існує стандартного терміну. В англійській літературі найчастіше використовуються такі вирази: «computer simulation» (комп'ютерне моделювання), «systems simulation» (системне моделювання), «digital simulation» (цифрове моделювання). У вітчизняній літературі використовуються терміни «машинна імітація», «машинне моделювання», «імітаційне моделювання», причому термін «імітаційне моделювання» вважається найменш вдалим, оскільки є тавтологією. Наприклад, переклад книги Шеннона «Systems simulation the art and science» на російську мову використовує термін «Имитационное моделирование систем – искусство и наука», замість «Системное моделирование».

Також слід відзначити особливість застосування методу імітаційного моделювання. Для проведення досліджень створюється імітаційна система, що включає імітаційну модель, а також внутрішню та зовнішню математичне забезпечення. Вводяться необхідні вхідні

дані до електронно-обчислювальної машини, і аналізуються зміни показників, які можуть бути піддані статистичній обробці в процесі моделювання [2].

Машинна імітація стала широко поширеною практикою для дослідження складних систем у всьому світі, завдяки суттєвим перевагам, які користувачі цього методу отримують. Далі наведено конкретні приклади цих переваг:

Вона дозволяє вирішувати багато питань, що виникають на початкових етапах задуму та передпроектного проектування систем, уникаючи застосування методу спроб і помилок, що може призвести до великих витрат.

Метод дозволяє вивчати особливості функціонування системи в будь-яких умовах, включаючи ті, які не можна відтворити в натурних експериментах. При цьому параметри системи і оточуючого середовища можна варіювати в широких межах, щоб відтворити будь-яку ситуацію.

Можливо прогнозувати поведінку системи в найближчому та віддаленому майбутньому, екстраполюючи результати промислових випробувань на моделях. При цьому дані, отримані раніше, можуть бути розширені за допомогою статистичного підходу.

Імітаційні моделі технічних і технологічних систем та пристроїв дозволяють значно скоротити час їх випробувань.

Застосування методу машинної імітації дозволяє швидко та ефективно отримати інформацію про хід реальних процесів, уникаючи витрат на дорогі та часто неможливі натурні випробування цих процесів.

Імітаційна модель є вкрай гнучким пізнавальним інструментом, здатним відтворювати реальні та гіпотетичні ситуації.

Імітаційне моделювання на електронно-обчислювальних машинах часто є єдиною реальною можливістю вирішення деяких завдань [3].

Однак, не дивлячись на всі переваги та універсальність методу машинної імітації, варто відзначити, що його використання не завжди є прийнятним, оскільки виконання розрахунків на імітаційних моделях вимагає значних фінансових та часових витрат від дослідників та програмістів.

Машинну імітацію, як числовий машинний метод для вирішення складних задач, доцільно використовувати за наступних умов:

Неможливість або відсутність аналітичних методів для вирішення задач.

Повна впевненість в успішному створенні імітаційної моделі, яка адекватно описує досліджувану систему чи процес. Це означає необхідність зібрати всю необхідну інформацію про модельовану систему чи процес, забезпечивши достовірну імітацію реальних ситуацій на електронно-обчислювальних машинах, включаючи будівництво імітаційних моделей стохастичних процесів, коли немає можливості отримати опис потрібних характеристик випадкових величин та подій.

Можливість використання самого процесу створення імітаційної моделі для попереднього вивчення системи, яку моделюють, з метою розробки рекомендацій щодо покращення умов її функціонування [4].

Можливі цілі створення імітаційної моделі для вивчення проблем організаційного управління включають: дослідження діючої функціональної системи,

аналіз гіпотетичної функціональної системи та проектування більш ефективної системи.

Проте, для успішного вирішення названих проблем на імітаційних моделях, важливо, щоб модель була адекватною. Таким чином, при дослідженні складних економічних систем на імітаційних моделях важливо встановити, наскільки модель відображає реальні об'єкти. У випадку неадекватності моделі, дослідник ризикує отримати неточні результати та робити помилкові висновки. Оцінка адекватності моделі є обов'язковим етапом моделювання, який може бути великою та складною задачею.

Перевірка достовірності моделі відома як її верифікація (від лат. *verus* – істинний і *facio* (*facio*) – роблю). Адекватна імітаційна модель, яка прирівнюється до досліджуваної системи (від лат. *adaquatus* – прирівнюваний), математично і логічно відображає систему з певним ступенем наближення. Логічні елементи моделі відповідають операціям, що відбуваються в реальності, а математичний опис визначає функції, що реалізуються в реальній системі.

Ймовірнісні оператори адекватної імітаційної моделі відображають випадковий характер подій у реальній системі. Ендогенні параметри моделі, при відповідних вхідних чинниках, мають бути інформативними, надавати достовірну інформацію про систему.

Оцінювання адекватності моделі передбачає перевірку якісної структури моделі та оцінку достовірності її реалізації. Верифікація імітаційної моделі реальної системи є вельми складним завданням, яке можна виконати за допомогою спеціально відібраних конкретних прикладів, які не обов'язково мають містити реальну інформацію, або застосування реальних задач, для яких відомі розв'язки, отримані іншими методами.

За допомогою імітаційного моделювання можна проводити дослідження лише еволюційних (лат. *evoluto* – еволюція і *evolvo* – розгортаю) процесів, для яких можна зібрати необхідну інформацію з минулого досвіду.

Існують два відомі способи побудови динамічних імітаційних моделей на електронно-обчислювальних машинах [5]:

Однорідне градування системного (модельного) часу.

Неоднорідне градування системного часу.

Створення програм для електронно-обчислювальних машин можна виконати двома способами:

За допомогою звичайних засобів програмування з використанням проблемно-орієнтованих або машинно-орієнтованих мов.

За допомогою спеціалізованих мов моделювання.

Перший спосіб застосовується, коли імітаційна модель не є дуже складною, використовується рідко і програмується спеціалістами, які не мають значного досвіду роботи з імітаційними моделями. Однак при цьому програмістові потрібно знову створювати підпрограми для стандартних процедур, що використовуються в усіх імітаційних моделях (генерація випадкових змінних, статистична обробка даних, розміщення інформації в машинній пам'яті, розробка основної програми, яка забезпечує правильну послідовність подій та просування імітаційного процесу відносно осі часу).

**Висновки.** Таким чином, термін «імітаційне моделювання» часто використовується для позначення розрахунків характеристик процесу, що прогресує у

часі. Цей підхід передбачає відтворення ходу цього процесу на комп'ютері за допомогою його математичної моделі, при цьому іншими методами отримати необхідні результати або надто важко, або неможливо. Процес відтворення ходу подій на комп'ютері з використанням математичної моделі отримав назву імітаційного експерименту.

Широке застосування імітаційного моделювання стало реальністю на певному етапі розвитку інформаційних технологій, що включають засоби збору, передачі, обробки та зберігання інформації. Під цими засобами розуміються не лише комп'ютери, але також інструменти обчислювальної математики, різнорівневі засоби програмування, системи управління базами даних, банки даних і інші.

Імітаційна модель представляє собою складну математичну та алгоритмічну структуру, яка призначена для дослідження певної системи. Метод, який заснований на створенні та аналізі імітаційних моделей, отримав назву «машинна імітація» або «імітаційне моделювання».

Машинна імітація використовує імітаційні моделі для відтворення поведінки досліджуваної системи. Цей метод дозволяє аналізувати різні стратегії та сценарії функціонування системи, оцінювати їхню ефективність та робити висновки щодо оптимальних вирішень.

Імітаційне моделювання є ефективним інструментом для дослідження різних аспектів систем, включаючи економічні, технічні та організаційні аспекти. Воно дозволяє враховувати різноманітні умови та обставини, що впливають на функціонування системи.

Зрозуміло, що успішне використання імітаційних моделей вимагає їхньої адекватності та відповідності реальним об'єктам дослідження. Важливим етапом в цьому процесі є верифікація моделі, яка визначає її істинність та правильність відтворення реальних умов.

Загальною метою машинної імітації є надання вченим та дослідникам інструменту для глибокого розуміння систем, їхньої динаміки та оптимальних стратегій управління. Цей підхід дозволяє прогнозувати поведінку системи в різних умовах та розробляти ефективні рішення для вирішення складних завдань.

#### Список використаних джерел:

1. Основні аспекти імітаційного моделювання. 2020. URL: [https://vuzlit.com/693147/sutnist\\_imitatsiyного\\_modelyuvannya](https://vuzlit.com/693147/sutnist_imitatsiyного_modelyuvannya)
2. Ситник В.Ф., Орленко Н.С. Імітаційне моделювання : навч. посібник. Київ : КНЕУ, 1998. С. 11–38.
3. Сутність імітаційного моделювання процесів. 2023. URL: [https://studies.in.ua/mpd-ekzamen/3173-sutnst-mtacyного\\_modelyuvannya-procesv.html](https://studies.in.ua/mpd-ekzamen/3173-sutnst-mtacyного_modelyuvannya-procesv.html)
4. Жадлун З.О. Моделювання інвестиційної діяльності. Київ : НАУ, 2009. 80 с.
5. Галаєва Л. В., Коваль Т. В. Імітаційне моделювання. Київ : ТОВ «ДЦ Компринт», 2016. 120 с.

#### References:

1. Osnovni aspekty imitatsiynoho modelyuvannya (2020) [Basic aspects of simulation modeling]. Available at: [https://vuzlit.com/693147/sutnist\\_imitatsiyного\\_modelyuvannya](https://vuzlit.com/693147/sutnist_imitatsiyного_modelyuvannya)
2. Sytnyk V. F., Orlenko N. S. (1998) Imitatsiine modelyuvannya: navch. posibnyk [Simulation modeling: education. manual]. Kyiv: KNEU, pp. 11–38.
3. Sutnist imitatsiynoho modelyuvannya protsesiv (2023) [The essence of simulation modeling of processes]. Available at: [https://studies.in.ua/mpd-ekzamen/3173-sutnst-mtacyного\\_modelyuvannya-procesv.html](https://studies.in.ua/mpd-ekzamen/3173-sutnst-mtacyного_modelyuvannya-procesv.html)
4. Zhadlun Z. O. (2009) Modelyuvannya investytsiynoi diialnosti [Modeling of investment activities]. Kyiv: NAU, 80 p.
5. Galayeva L. V., Koval T. V. (2016) Imitatsiine modelyuvannya [Simulation modeling]. Kyiv: DC Comprint LLC, 120 p.