

УДК 338

DOI: <https://doi.org/10.32782/CMI/2024-9-4>**Дриньов Д.М.**старший науковий співробітник  
науково-дослідного відділу перспектив розвитку  
та проблем супроводження моделей операцій,  
Національний університет оборони України**Кулинич І.І.**старший науковий співробітник наукового дослідного відділу  
розробки моделей операцій та бойових дій,  
Національний університет оборони України**Тимошенко Р.Р.**начальник науково-дослідного відділу перспектив розвитку  
та проблем супроводження моделей операцій,  
Національний університет оборони України

## СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті досліджено питання щодо сучасних програмних засобів для імітаційного моделювання. Наголошено на тому, що протягом останніх 15–20 років імітаційне моделювання стало однією з найбільш розповсюджених інструментальних технік для вивчення складних систем і процесів. На сьогоднішній день на ринку програмного забезпечення для імітаційного моделювання доступно понад 50 потужних програмних засобів. Як висновок, сказано про те, що сучасні програмні засоби для імітаційного моделювання відіграють важливу роль у багатьох галузях, надаючи можливість віртуально відтворювати та аналізувати різні процеси та системи. Програмні засоби для імітаційного моделювання знаходять застосування в різних галузях, таких як промисловість, транспорт, логістика, медицина, фінанси та інші. Вони дозволяють віртуально тестувати та аналізувати складні системи без реального втручання. Покращення проектування та оптимізація процесів: Імітаційне моделювання дозволяє виробникам, інженерам та дослідникам оптимізувати проекти та процеси, зменшуючи витрати часу.

**Ключові слова:** імітування, програми, моделювання, програмні засоби, імітаційне моделювання.

**Drynov Dmytro, Kulynych Ihor, Tymoshenko Roman**

National Defence University of Ukraine

## MODERN SOFTWARE FOR SIMULATION

The importance of modern software tools for simulation modeling cannot be overstated. Over the past few decades, simulation modeling has evolved into a crucial technique for understanding and analyzing complex systems and processes across various industries. These sophisticated software tools enable researchers, engineers, and decision-makers to create virtual representations of real-world scenarios, allowing for detailed analysis, experimentation, and optimization without the need for costly and time-consuming physical tests. In today's fast-paced world, where innovation and efficiency are paramount, simulation modeling software plays a vital role in numerous fields such as manufacturing, transportation, logistics, healthcare, finance, and more. By providing a platform for virtual testing and analysis, these tools help organizations make informed decisions, identify potential issues or bottlenecks, and optimize processes to enhance performance and productivity. The article delves into the realm of contemporary software tools designed for simulation modeling. Over the past 15–20 years, simulation modeling has emerged as one of the most prevalent instrumental techniques for scrutinizing intricate systems and processes. Presently, there are over 50 robust software tools available in the simulation software market. Modeling is an effective method for studying complex systems such as telecommunications networks. A model in this context is a representation or an object that reproduces the processes occurring in real systems using mathematical or physical means. In summary, it is underscored that modern software tools tailored for simulation modeling hold significant sway across numerous industries, affording the capability to virtually replicate and scrutinize diverse processes and systems. These tools find utility in various domains, including industry, transportation, logistics, healthcare, finance, and others, enabling virtual testing and analysis of intricate systems sans real-world intervention. Enhancing design and optimizing processes: Simulation empowers manufacturers, engineers, and researchers to refine designs and processes, thereby curtailing time expenditure.

**Keywords:** simulation, programs, modeling, software tools, simulation modeling.

**Постановка проблеми.** Моделювання є ефективним методом вивчення складних систем, таких як телекомунікаційні мережі. Модель в даному контексті є представленням або об'єктом, який відтворює процеси, що відбуваються в реальних системах, за допомогою математичних або натурних засобів. Модель може бути розглядана як умовне відображення реальної системи, де умовність пов'язана з можливістю формалізації опису процесу та взаємозв'язків його

показників. В рамках моделей відображаються процеси через взаємозв'язки показників, що дозволяє проводити оцінки характеристик та/або параметрів досліджуваних систем.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питанню щодо сучасних програмних засобів для імітаційного моделювання були присвячені праці таких вчених як Ситник В. Ф., Орленко Н. С., Жерновий Ю. В., Кравець І. О. та інших.

Актуальні публікації і дослідження у галузі імітаційного моделювання на сучасному етапі відображають великий інтерес до цієї теми та широкий спектр досліджень, проведених вченими різних наукових установ. У даних дослідженнях висвітлені різноманітні аспекти застосування імітаційного моделювання у різних галузях науки та техніки.

Роботи авторів, які були наведені, зосереджені на різних аспектах імітаційного моделювання, від теоретичних аспектів до практичних підходів. Вони включають навчальні посібники, практикуми та теоретичні посібники, які допомагають студентам та дослідникам отримати розуміння процесів імітаційного моделювання та його застосування у різних сферах.

Ці дослідження демонструють різноманітність та важливість використання імітаційного моделювання для вирішення реальних завдань в галузі науки, промисловості та бізнесу. Вони відображають актуальні проблеми та виклики, які виникають у процесі моделювання складних систем, і пропонують методи та інструменти для їх вирішення.

**Постановка завдання.** Головним завданням дослідження є аналіз сучасних програмних засобів для імітаційного моделювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Протягом останніх 15-20 років імітаційне моделювання стало однією з найбільш розповсюджених інструментальних технік для вивчення складних систем і процесів. На сьогоднішній день на ринку програмного забезпечення для імітаційного моделювання доступно понад 50 потужних програмних засобів.

У всьому спектрі інформаційних технологій представлено близько 150 програмних продуктів, які дозволяють здійснювати імітаційні експерименти. Щодо мов загального призначення, таких як C, C++, Java та інші, та мов для моделювання, таких як GPSS, AnyLogic, SIMAN, SLAM, SSF, і середовищ моделювання, таких як MatLab (Simulink), MathCad, Arena, SIMUL8, вони використовуються для створення та впровадження імітаційних моделей.

У раніших версіях Excel для генерації псевдовипадкових чисел використовувалася функція RAND, яка, за стандартними тестами випадковості, виявилася менш ефективною. Версія алгоритму, запроваджена в Excel 2003, була розроблена Б. А. Віхманном і І. Д. Хіллом [1].

Основна концепція полягає в тому, що сума трьох випадкових чисел в інтервалі  $[0,1]$ , поданих як дробові частини, також буде випадковим числом в цьому інтервалі. Оператори IX, IY, IZ генерують цілі випадкові числа від 0 до 30269, від 0 до 30307 і від 0 до 30 323 відповідно. При формуванні випадкового числа в інтервалі  $[0,1]$  (RANDOM) кожне ціле число ділиться на максимальне значення вибірки (30269, 30307 або 30323 відповідно), і результати підсумовуються.

У цій версії функції RAND є недолік: послідовність чисел повторюється, що становить недолік генератора випадкових чисел.

Результати в попередніх версіях Microsoft Excel показують, що функція RAND в більш ранніх версіях була зручною для користувачів, яким не потрібна була тривала послідовність випадкових чисел, але вона не відповідала стандартним тестам випадковості [5].

Користувачі, яким потрібні довгі послідовності випадкових чисел, повинні користуватися новим покращеним генератором в Excel 2003 і пізнішими версіями.

В середовищі програмування MatLab застосовується функція RandStream для генерації псевдовипадкових чисел. Всі генератори ґрунтуються на детермінованих алгоритмах, і у всіх випадках їм може бракувати достатньої конкретності для проходження специфічних статистичних тестів випадковості.

Один з методів перевірки результатів моделювання за допомогою методу Монте-Карло – це повторення симуляції за допомогою двох або більше різних алгоритмів генератора.

GPSS (General Purpose Simulation System) – це мова моделювання, призначена для імітаційного моделювання різних систем, зокрема систем масового обслуговування (СМО) на каналному рівні. Модель у системі GPSS розробляється за допомогою операторів, а об'єкт «Модель» створюється через вбудований текстовий редактор. Об'єкт «Процес моделювання» виникає внаслідок трансляції моделі, і його запуск відбувається через команди GPSS. Після завершення моделювання автоматично створюється об'єкт «Звіт».

Текстовий об'єкт (текстовий файл GPSS World) призначений для полегшення розробки великих моделей та створення бібліотеки вихідних текстів. Модель може бути розділена на набори операторів, які представляють собою окремі текстові файли, і потім об'єднана в загальну модель об'єктом «Процес моделювання». Об'єкт «Процес моделювання» може також створювати нові текстові файли з фрагментами моделі та результатами моделювання, а також зчитувати та записувати дані в текстові файли.

GPSS World призначена для імітаційного моделювання систем із дискретними та неперервними процесами. Основною мовою моделювання є GPSS, яка покращена вбудованою мовою програмування низького рівня PLUS. Мова GPSS базується на припущенні, що складну систему можна уявити як сукупність елементів і логічних правил їх взаємодії в процесі функціонування системи.

Об'єкти є абстрактними елементами, а набір логічних правил є обмеженим і може бути описаний стандартними операціями. Комплекс програм, який описує функціонування об'єктів та виконує логічні операції, є основою для створення програмної моделі [6].

Крім основного комплексу, GPSS World включає в себе програму-планувальник, яка виконує різні функції:

- забезпечення просування по заданих розробником маршрутах динамічних об'єктів, що називаються транзактами;
- планування подій, які відбуваються в моделі, шляхом реєстрації часу настання кожної події та їх виконання в наростаючій часовій послідовності;
- реєстрація статистичної інформації про функціонування моделі;
- просування модельного часу в процесі моделювання системи [2].

Для забезпечення правильної послідовності обробки подій у часі використовується системний годинник, який зберігає значення абсолютного модельного часу. Об'єкти в системі, що моделюється, призначені для різних цілей, і не обов'язково всі типи об'єктів

беруть участь у кожній моделі. Зазвичай достатньо наявності блоків і транзактів. Об'єкти поділяються на 7 категорій і 15 типів.

Розглянемо призначення об'єктів GPSS. Динамічними об'єктами є транзакти, які створюються в певних точках моделі, просуваються планувальником через блоки, а потім знищуються. Транзакти є аналогами одиниць – потоків в реальній системі. Вони можуть являти собою різні елементи навіть в одній моделі.

З кожним транзактом пов'язані параметри, які використовуються для конкретних даних. Кожен транзакт може мати будь-яке число параметрів. Параметри нумеруються або їм даються імена. Номери параметрів і імена використовуються для посилань на значення, присвоєні параметрам. Транзакту може присвоюватися пріоритет. Пріоритет визначає перевагу, яке отримує транзакт, коли він і інші транзакти претендують на один і той же ресурс.

Об'єкти апаратної категорії – це абстрактні елементи, на які може бути декомпована реальна система. Впливаючи на ці об'єкти, транзакти можуть змінювати їх стан і впливати на рух інших транзактів. До об'єктів цього типу відносяться одноканальні, багатоканальні пристрої і логічні ключі [3].

Одноканальні пристрої (ОКП) представляють собою обладнання, яке в будь-який момент часу може бути зайнято лише одним транзактом. Наприклад, один канал передачі даних, одноканальний ремонтний орган, один верстат виготовлення деталей, один транспортний засіб. Багатоканальні пристрої (БКП) призна-

чені для імітації обладнання, що здійснює паралельну обробку.

Обчислювальна категорія призначена для узагальненого опису ситуацій у процесі моделювання, де взаємодії між компонентами модельованої системи можуть бути ефективно виражені у вигляді математичних (аналітичних і логічних) співвідношень. Для цієї мети вводяться арифметичні і булеві змінні та функції [4].

Змінні представляють собою складні вирази, які включають константи, системні числові атрибути (СЧА), бібліотечні арифметичні функції та арифметичні та логічні операції. Вирази можуть бути використані в змінних та операторах GPSS. Команди GPSS визначають вирази для застосування в змінних, тоді як вирази для застосування в операторах GPSS формуються як частини мови PLUS.

**Висновки.** Отже, сучасні програмні засоби для імітаційного моделювання відіграють важливу роль у багатьох галузях, надаючи можливість віртуально відтворювати та аналізувати різні процеси та системи.

Програмні засоби для імітаційного моделювання знаходять застосування в різних галузях, таких як промисловість, транспорт, логістика, медицина, фінанси та інші. Вони дозволяють віртуально тестувати та аналізувати складні системи без реального втручання.

Покращення проектування та оптимізація процесів: Імітаційне моделювання дозволяє виробникам, інженерам та дослідникам оптимізувати проекти та процеси, зменшуючи витрати часу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дубовой В. М. Імітаційне моделювання в системі SCILAB/XCOS: навчальний посібник. Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2018. URL: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovuj\\_imitacijne\\_modelyuvannya\\_v\\_systemi\\_Scilab-Xcos/](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovuj_imitacijne_modelyuvannya_v_systemi_Scilab-Xcos/)
2. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: практикум. Міністерство освіти і науки України, Львівський національний університет ім. Івана Франка. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 307 с.
3. Кравець І. О. Імітаційне моделювання: навчальний посібник до виконання практичних робіт із дисциплін «Моделювання систем» та «Ситуаційні моделі». Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. 108 с.
4. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування: навчальний посібник. Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. Харків, 2018. 141 с.
5. Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ: Видавнича група BHV, 2005. 352 с.
6. Ситник В. Ф., Орленко Н. С. Імітаційне моделювання: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 1998. 232 с.

## REFERENCES

1. Dubovoy V. M. (2018). Simulation modeling in the SCILAB/XCOS system: training manual. Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia: IRVC of VNTU. Available at: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovuj\\_imitacijne\\_modelyuvannya\\_v\\_systemi\\_Scilab-Xcos/](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovuj_imitacijne_modelyuvannya_v_systemi_Scilab-Xcos/)
2. Zhernovy Yu. V. (2007). Simulation modeling of mass service systems: workshop. Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv National University named after Ivan Franko. Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Center, 307 p.
3. Kravets I. O. (2010). Simulation modeling: a study guide for performing practical work in the disciplines "System Modeling" and "Situational Models". Mykolaiv. Type of ChSU named after Petra Mohyly, 108 p.
4. Lytvynov A. L. (2018). Theory of mass service systems: study guide. Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov. Kharkiv, 141 p.
5. Tomashevsky V. M. (2005). Modeling of systems. Kyiv: BHV Publishing Group, 352 p.
6. Sytnyk V. F., Orlenko N. S. (1998). Simulation modeling: training. manual. Kyiv: KNEU, 232 p.