

УДК 338

DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.75-38>

Матюшенко Д.І.

слухач

*Інститут державного військового управління
Національного університету оборони України*

Войтех К.Р.

старший науковий співробітник науково-дослідної
лабораторії розробки моделей видів забезпечення
операцій та бойових дій науково-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

Matiushenko Dmytro

Student,

*Institute of State Military Administration
National Defence University of Ukraine*

Voitek Kateryna

Senior Researcher of the Research Laboratory
for the Development of Models of Operations and Combat Support Types
of the Research Department of the Development of Operations and Combat Models
National Defence University of Ukraine

Tymoshenko Roman

Head of the Research Department of Development
Prospects and Problems of Supporting Operation Models
National Defence University of Ukraine

ОСНОВНІ ЕТАПИ ПОБУДОВИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

MAIN STAGES OF BUILDING A SIMULATION MODEL

У статті досліджено питання щодо сутності імітаційного моделювання. Зазначено про те, що переваги імітаційного моделювання включають високу адекватність моделі фізичним властивостям об'єкта, можливість деталізованого опису складних систем, область дослідження, яка перевищує можливості аналітичного моделювання, відсутність обмежень відображення залежностей у моделі, можливість оцінювання функціонування системи в різних режимах, а також отримання обширної інформації про об'єкт. Наголошено на тому, що Послідовність складання імітаційної моделі передбачає такі кроки: визначення задачі та її аналіз; визначення вимог до інформації; збирання інформації; висування гіпотез і прийняття припущень; встановлення основного змісту моделі; визначення параметрів, змінних і критеріїв ефективності; опис концептуальної моделі й перевірка її вірогідності; побудова логічної структурної схеми (блок-схеми).

Ключові слова: моделювання, логіка, структура, модель, етапи.

The article examines the issue of the essence of simulation modeling. As the complexity of systems and processes across various sectors continues to grow, the ability to construct accurate and effective simulation models becomes increasingly important. Understanding the key stages of building an imitative model is crucial for ensuring the model's validity, reliability, and relevance to real-world scenarios. These stages typically involve problem definition, data collection and analysis, model design, validation, and implementation. Each stage requires careful planning, expertise, and attention to detail to ensure that the model accurately represents the system being studied. In today's fast-paced and competitive environment, organizations and decision-makers rely on simulation models to analyze complex scenarios, evaluate strategies, and make informed decisions. Therefore, having a clear understanding of the key stages of model building is essential for leveraging simulation modeling effectively as a decision-making tool. Furthermore, advancements in computational technologies and software tools have made it easier than ever to build complex

simulation models. However, this also introduces challenges related to data quality, model complexity, and validation. Thus, knowledge of the key stages of building an imitative model is crucial for addressing these challenges and ensuring the model's accuracy and reliability. It is noted that the advantages of simulation modeling include the high adequacy of the model to the physical properties of the object, the possibility of a detailed description of complex systems, the research area that exceeds the capabilities of analytical modeling, the absence of restrictions on the display of dependencies in the model, the possibility of evaluating the functioning of the system in different modes, as well as obtaining extensive information about the object. It is emphasized that the sequence of building a simulation model involves the following steps: definition of the problem and its analysis; determination of information requirements; information gathering; proposing hypotheses and accepting assumptions; establishment of the main content of the model; determination of parameters, variables and efficiency criteria; description of the conceptual model and verification of its plausibility; construction of a logical structural diagram (block diagram).

Key words: modeling, logic, structure, model, stages.

Постановка проблеми. Побудова імітаційної моделі – це процес створення спрощеної або віртуальної версії реальної системи чи процесу для вивчення її властивостей та взаємодій. Імітаційні моделі використовуються в різних галузях, таких як наука, інженерія, економіка, менеджмент та інші.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню щодо основних етапів побудови імітаційної моделі були присвячені праці таких вчених як Є.І. Кучеренко, В.Є. Кучеренко, І.С. Глушенкова, І.С. Творошенко та інших.

Томашевський В.М. є автором книги «Моделювання систем», виданої у Києві видавничою групою ВНУ у 2005 році. У цій книзі автор розглядає питання моделювання систем та надає читачам необхідний теоретичний матеріал із цієї теми. Книга містить 352 сторінки.

«Методи, моделі та інформаційні технології оцінювання станів складних об'єктів» – це монографія, спільний проєкт Є.І. Кучеренко, В.Є. Кучеренко, І.С. Глушенкової та І.С. Творошенка, видана ХНАМГ та ХНУРЕ у Харкові в 2012 році. У цій монографії автори розглядають різні методи та моделі для оцінювання станів складних об'єктів, а також використання інформаційних технологій у цих процесах. Книга містить 278 сторінок.

Формулювання завдання дослідження. Мета статті є висвітлення загальних аспектів щодо основних етапів побудови імітаційної моделі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Переваги імітаційного моделювання включають високу адекватність моделі фізичним властивостям об'єкта, можливість деталізованого опису складних систем, область дослідження, яка перевищує можливості аналітичного моделювання, відсутність обмежень відображення залежностей у моделі, можливість оцінювання функціонування системи в різних режимах, а також отримання обширної інформації про об'єкт.

Недоліки включають високі витрати і час на розробку ефективної моделі, складність оцінки точності і адекватності моделі, вимоги до кваліфікації дослідника та особистісні особливості реалізації моделі.

Необхідно вивчити різновиди робіт, які виконуються під час практичної реалізації методу машинної імітації. Загальний перелік видів робіт включає наступне:

I. Розробка імітаційної моделі, яка повинна бути представлена у вигляді логічної структурної схеми.

II. Розробка методології машинного моделювання, включаючи планування експериментів та статистичну обробку інформації.

III. Створення програмного забезпечення для машинного моделювання за допомогою загальноприйнятих мов програмування або спеціалізованих мов імітації.

IV. Здійснення машинної імітації на комп'ютері, аналіз та узагальнення отриманих результатів, прийняття рішень щодо можливого уточнення імітаційної моделі.

Послідовність складання імітаційної моделі передбачає такі кроки: визначення задачі та її аналіз; визначення вимог до інформації; збирання інформації; висунення гіпотез і прийняття припущень; встановлення основного змісту моделі; визначення параметрів, змінних і критеріїв ефективності; опис концептуальної моделі й перевірка її вірогідності; побудова логічної структурної схеми (блок-схеми) [1].

На початковому етапі комп'ютерного моделювання конкретного об'єкта або системи необхідно створити концептуальну модель процесу її функціонування, яка потім піддається формалізації. Іншими словами, основним завданням цього етапу моделювання є перехід від загального опису системи за допомогою словесних висловів до її математичного опису. Ключовими аспектами цієї роботи є упрощений опис системи, її відокремлення від зовнішнього середовища та визначення основного змісту моделі. При виборі основного змісту моделі відкидається другорядне, що не є суттєвим для досягнення поставленої мети моделювання.

Для кращого розуміння процесу моделювання функціонування системи давайте розглянемо конкретні кроки, які виконуються при моделюванні реальної системи. Мета моделювання у цьому випадку полягає в отриманні характеристик часу та ймовірності функціонування фрагменту локальної мережі (ЛС). Ефективність різних варіантів побудови мережі та її фрагментів оцінюється за допомогою показників, таких як середній час передачі даних, ймовірність відмови обладнання мережі та вартість мережі. У практиці часто необхідно приймати рішення щодо вибору топології мережі в конкретних умовах.

На етапі постановки задачі для імітаційного моделювання важливо здійснити кілька ключових кроків [2]:

Звернутися увагу на наявність задачі і важливість застосування машинного моделювання.

Провести аналіз задачі, використовуючи матеріали наукової літератури.

Сформулювати задачу чітко та конкретно.

Вибрати методіку розв'язування, враховуючи специфіку задачі.

Перевірити наявність необхідних ресурсів для проведення моделювання на комп'ютері.

Визначити масштабність задачі та можливість поділу її на окремі підзадачі.

Встановити послідовність розв'язання підзадач.

У випадку дослідження задачі моделювання логістичного обслуговування мережі підприємства поділ на підзадачі може бути відсутнім, оскільки в розгляді береться лише фрагмент мережі, а не її повна структура.

На підставі проведеного аналізу [5; 6] можна зробити висновок про непридатність аналітичних методів для дослідження даної задачі і, навпаки, підтвердити важливість використання імітаційних методів.

Для проведення моделювання рекомендується використовувати ПЕОМ IBM-сумісні, починаючи від AT286 до Pentium 300. На етапі аналізу задачі моделювання виконуються наступні функції:

Вибір критеріїв для оцінки процесу функціонування системи.

Виділення систем ендогенних та екзогенних змінних моделі.

Вибір методів ідентифікації.

Виконання попереднього аналізу наступних етапів моделювання.

У якості критеріїв ефективності функціонування локальної мережі обираються такі характеристики, як вірогідність передачі пакету по каналу за час t_d , що не перевищує встановлений час T_v , вірогідність передачі пакету підтвердження за час t_p , який не перевищує визначений час T_{vp} , математичне сподівання та дисперсія повного часу передачі пакету.

Ендогенними змінними вважаються середній час передачі пакету та середня довжина черги повідомлень. Екзогенними змінними вважаються інтенсивність вхідних потоків пакетів, час обробки пакетів ЦП сервера та час передачі пакету по каналу [3].

Необхідні уточнення можна внести після вибору конкретного типу математичних схем для формалізації процесів у локальній мережі. Використовуючи літературу, можна провести ідентифікацію впливу зовнішнього середовища на об'єкт моделювання, включаючи вибір типу топології локальної мережі.

Зокрема, на топологію мережі впливають конкретне розміщення ПК, відстань між комп'ютерами, надійність елементів мережі та ПК. Різні типи топологій, такі як шинна та зіркоподібна, мають свої переваги та обмеження, які слід враховувати при виборі структури мережі.

Кільцева топологія, подібно до шинної, не включає центрального вузла керування, що призводить до підвищення надійності в порівнянні з зірковими мережами. Однак ретрансляція інформації проміжними вузлами вносить свої переваги та недоліки. З одного боку, це дає можливість використовувати різні типи кабелю та забезпечувати більшу довжину мережі. З іншого боку, існує ризик виникнення неполадок у проміжному вузлі, що може призвести до розриву всієї мережі.

Для визначення вимог до шуканої інформації рекомендується:

Сформулювати вимоги до початкової інформації про об'єкт моделювання.

Здійснити отримання інформації, якої недостатньо.

Підготувати апріорні відомості про систему.

Здійснити аналіз експериментальних даних про системи аналогічних класів.

У контексті моделювання локальної мережі слід дослідити характеристики інформаційної мережі, пара-

метри передачі по каналу та обробки пакетів. Вихідну інформацію можна здобути з літературних джерел та досвіду подібних мереж. Однак, перед тим як розпочати моделювання, важливо провести перетворення вхідної інформації для спрощення моделі та доповнити її додатковою інформацією [4].

Наступним етапом є збір інформації, і в разі відсутності можливості отримати її, треба розглядати альтернативні шляхи, такі як заміна відсутньої інформації чи розробка альтернативних варіантів розв'язання. Зокрема, може знадобитися провести додаткові дослідження або використати математичні моделі для знаходження потрібної інформації.

Визначення методів отримання необхідної інформації є ключовим етапом у всіх операційних дослідженнях, оскільки існують численні методи вирішення виробничих задач, які стають безперспективними через відсутність можливостей надати розрахунки необхідною інформацією. Здобута інформація повинна оцінюватися з точки зору її відповідності поставленій задачі та зручності використання [5]. Під час збору інформації часто не відомо, яка саме інформація буде потрібна для подальших досліджень. Також може трапитися, що повернутися до збору інформації пізніше буде неможливо або дорого. Тому важливо намагатися зібрати якнайбільше даних, щоб уникнути втрати інформації, яка може знадобитися у майбутньому. Загалом накопичується великий обсяг інформації, причому лише невелика частина її відповідає поставленій задачі. Корисну інформацію слід відфільтрувати, відокремити від непотрібних та випадкових даних.

Первинна інформація, зібрана на цьому етапі, не завжди зручна для безпосереднього використання при вирішенні задачі. Зазвичай ця інформація піддається попередній обробці, аналізу та групуванню за допомогою ЕОМ чи інших засобів обробки інформації.

У випадках, коли вирішення задачі за допомогою методу машинної імітації не дозволяє отримати всю необхідну інформацію, часто доводиться експериментувати, ставити гіпотези та робити припущення, які повинні бути чітко сформульовані. Це дозволяє трансформувати складні та непередбачувані характеристики на зручні для операцій обчислення величини [6].

Під час створення імітаційних моделей важливо враховувати різні аспекти, такі як визначення припущень, параметрів та змінних, а також очікувані результати. Наприклад, у виробничому процесі в механічному цеху можуть існувати непередбачені зв'язки з кліматичними умовами, які не завжди можна повністю врахувати в моделях.

При висуванні гіпотез і формулюванні припущень важливо враховувати доступну інформацію, її релевантність та обсяг, а також ресурси, необхідні для вирішення завдання. На етапі визначення параметрів та змінних важливо виконати такі кроки:

Визначити параметри системи.

Встановити вхідні та вихідні змінні.

Врахувати вплив зовнішнього середовища.

Надати короткий опис та характеристику параметрів та змінних.

У моделі можуть використовуватися різні параметри та змінні залежно від її топології. Наприклад, у моделі ЛОМ можуть використовуватися параметри, такі як SZM, SNK, SVZ, SVV для опису стану мережі та її елементів.

Вихідні змінні визначаються на основі статистичних даних, отриманих під час імітації процесів у мережі. Наприклад, Q_i відображає середню довжину черги на пристрої, а A_i визначає середнє число пакетів, які очікують обробки.

На етапі опису концептуальної моделі та перевірки її вірогідності проводять такі операції: опис моделі за допомогою абстрактних термінів та понять з використанням типових математичних схем; обґрунтовують вибір процедур апроксимації реальних процесів при побудові моделі; перевіряють вірогідність моделі. Вірогідність концептуальної моделі перевіряють у такому порядку.

1. З'ясування задуму моделі та доцільності її створення.
2. Виявлення зв'язку задуму моделі та доцільності її побудови з детермінованими, рандомізованими (імовірними) і середніми значеннями характеристик моделі.
3. Дослідження прийнятих апроксимацій (від лат. *approximatio* – зближення) реальних процесів.
4. Розгляд критеріїв ефективності.
5. Дослідження прийнятих припущень і гіпотез.
6. Встановлення зв'язку п. 4 і 5 з реальними процесами; вивчення системи та збурюючих факторів зовнішнього середовища.
7. Встановлення достовірності інформації та її джерел, що використовуються при побудові моделі.
8. Розгляд процедури в цілому у зв'язку з визначенням задачі.
9. Розгляд постановки задачі. Іншим методом перевірки достовірності концептуальної моделі є розгляд моделі спеціалістами, які не брали участі в її створенні. Заключним етапом побудови імітаційної моделі є створення її логічної структурної схеми. Далі розробляється машинна схема і відбувається програмування задачі.

Логічна структурна схема імітаційної моделі являє собою упорядковане й наочне зображення процесу, в

якому визначені не лише дії, а й порядок їх виконання. У створеній на базі згаданої схеми машинної схеми довільна процедура подається у вигляді сукупності елементарних операцій, що реалізують цю процедуру. Логічну схему імітаційної моделі рекомендується створювати за модульним (блоковим) принципом, тобто у вигляді сукупності стандартних блоків-модулів. Якщо реалізація імітаційної моделі відбуватиметься з використанням пакету GPSS/PC, то при розробці схеми імітаційної моделі доцільно використовувати спеціальні графічні блоки, розроблені для цієї мови моделювання.

Висновки. Таким чином, імітаційне моделювання представляє собою метод дослідження, в якому об'єкт дослідження замінюється моделлю, що досить точно відображає його фізичні властивості, і проводяться експерименти для отримання інформації про цей об'єкт. Цей метод може використовуватися в разі відсутності аналітичних моделей або методів розрахунку для певних класів об'єктів. Імітаційне моделювання охоплює створення математичних моделей, використання програмного забезпечення для обчислювальних експериментів, та організацію та планування цих експериментів на електронних обчислювальних машинах.

Побудова імітаційних моделей відіграє важливу роль у багатьох галузях, надаючи дослідникам, інженерам та менеджерам ефективний інструмент для вивчення, оптимізації та прийняття обґрунтованих рішень щодо реальних систем чи процесів. Використання імітаційних моделей дозволяє враховувати складність та взаємодії між різними елементами системи, що може бути важко або навіть неможливо зробити в реальному середовищі.

Список використаних джерел:

1. Томашевський В.М. Моделювання систем. Київ : Видавнича група BVH, 2005. 352 с.
2. Кучеренко Є.І., Кучеренко В.Є., Глушенкова І.С., Творошенко І.С. Методи, моделі та інформаційні технології оцінювання станів складних об'єктів : монографія. ХНАМГ, ХНУРЕ. Харків : ХНАМГ; ХНУРЕ, 2012. 278 с.
3. Muller S.H. A Comparison of Peak Power Reduction Schemes for OFDM. Proc. IEEE GLOBECOM '97, Phoenix, AZ, Nov. 1997. P. 1–5.
4. Park S.K. Random Number Generators: Good Ones Are Hard to Find. *Communications of the ACM*. 1998. Vol. 31. No.10. P. 1192–1201.
5. Дубовой В.М., Юхимчук М.С. Імітаційне моделювання в системі SCILAB/XCOS : Е-посібник. ІРВЦ ВНТУ. 2018. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10duboviy_imitacijne_modelyuvannya_v_systemi_Scilab-Xcos/
6. Уривський Л.О., Мошинська А.В., Осипчук С.О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 202 с.

References:

1. Tomashevskiy V. M. (2005) Modeliuvannia system [Modeling of systems]. Kyiv : BVH Publishing Group, 352 p.
2. Kucherenko E. I., Kucherenko V. E., Glushenkova I. S., Tvoroshenko I. S. (2012) Metody, modeli ta informatiini tekhnolohii otsiniuvannia staniv skladnykh obiektiv: monohrafiia [Methods, models and information technologies for assessing the state of complex objects: monograph]. KhNAMH, KhNURE. Kharkiv: KhNAMH, KhNURE, 278 p.
3. Muller S. H. (1997) A Comparison of Peak Power Reduction Schemes for OFDM. Proc. IEEE GLOBECOM '97, Phoenix, AZ, Nov., pp. 1–5.
4. Park S. K. (1998) Random Number Generators: Good Ones Are Hard to Find. *Communications of the ACM*, vol. 31, no. 10, pp. 1192–1201.
5. Dubovoy V. M., Yukhymchuk M. S. (2018) Imitation modeling in the SCILAB/XCOS system: E-manual. IRVC of VNTU. Available at: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10duboviy_imitacijne_modelyuvannya_v_systemi_Scilab-Xcos/
6. Uryvskiy L. O., Moshinska A. V., Osypchuk S. O. (2022) Simulation modeling of systems and processes in telecommunications: teaching. guide. Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi, 202 p.