

БІЗНЕС ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ КАПІТАЛ

УДК 338

DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8801/2024-2.8>**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*

Авраменко Д.О.

*ад'юнкт кафедри інформаційно-аналітичних технологій,
Інститут інформаційно-комунікаційних технологій та кібероборони
Національного університету оборони України*

Мельник Я.В.

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

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

У статті досліджено імітаційне моделювання мережі масового обслуговування. Зазначено про те, що імітаційне моделювання може бути розглянуте як методологія, а не теорія розв'язання проблем. Однією з особливостей імітаційних моделей є практично значуще припущення, що вони можуть служити інструментом для аналізу поведінки системи в умовах, визначених експериментатором. Елементами мережі масового обслуговування є вхідний потік, система масового обслуговування та зв'язок. Вхідний потік характеризується інтервалом надходження вимог у мережу, який може бути випадковою або детермінованою величиною, а також номером системи масового обслуговування, до якої надходить вимога. Стан вхідного потоку визначається моментом часу, коли надходить наступна вимога у мережу масового обслуговування. У випадку, коли інтервал часу надходження вимог є випадковою величиною з відомим законом розподілу, для його розрахунку використовується генератор випадкових чисел.

Ключові слова: моделювання, масове обслуговування, імітація, аналіз.

SIMULATION MODELING OF MASS SERVICE NETWORK

Voitek Kateryna*National Defence University of Ukraine***Avramenko Dmytro**

*Institute of Information and Communication Technologies and Cyber Defense
National Defence University of Ukraine*

Melnyk Yaroslav*National Defence University of Ukraine*

In this work, simulation modeling of mass service network is investigated. The relevance of researching the topic lies in its potential to enhance efficiency and effectiveness across various service industries. In today's increasingly interconnected and technologically driven world, understanding how to optimize service delivery processes is paramount. By employing simulation modeling techniques, researchers and practitioners can simulate real-world scenarios, identify bottlenecks, test different strategies, and ultimately improve the overall performance of mass service networks. This research can have practical applications in areas such as transportation, healthcare, telecommunications, and customer service, where efficient management of large-scale service networks is essential for meeting demand, reducing costs, and enhancing customer satisfaction. Moreover, the insights gained from such research can inform policy-making decisions aimed at improving service accessibility,

equity, and resilience in the face of disruptions, thus contributing to the advancement of both academic knowledge and practical applications in the field of service operations management. It is noted that simulation modeling can be considered as a methodology and not a theory of problem solving. One of the features of simulation models is the practically significant assumption that they can serve as a tool for analyzing the behavior of the system under the conditions determined by the experimenter. The elements of a mass service network are the input flow, the mass service system, and communication. The input flow is characterized by the interval of requests to the network, which can be a random or deterministic value, as well as the number of the mass service system to which the request is received. The state of the incoming stream is determined by the moment in time when the next request arrives in the mass service network. In the case when the time interval for the arrival of requirements is a random variable with a known distribution law, a random number generator is used to calculate it.

Key words: simulation, mass service, imitation, evaluation.

Постановка проблеми. Імітаційне моделювання використовує різні галузі знань, такі як математика, статистика, теорія ймовірності та теорія обчислювальних систем. Під імітаційною моделлю розуміється обчислювальна процедура, яка формально описує певний об'єкт і відтворює його поведінку. Це також може охоплювати групу об'єктів чи ідей у певній формі, що відрізняються від реального втілення. Отже, навіть системи, які існують лише на папері або перебувають на етапі планування, можуть бути моделювані, як і діючі системи.

Імітаційне моделювання – це процес конструювання моделі реальної системи та проведення експериментів з метою розуміння її поведінки або оцінки різних стратегій функціонування. Таким чином, імітаційне моделювання вивчає певну проблему через конструювання та аналітичний аналіз моделі.

Метою імітаційного моделювання, що базується на експериментальній та прикладній методології, є опис поведінки системи, розробка теорії і гіпотез, які пояснюють цю поведінку, та використання цієї теорії для прогнозування майбутньої поведінки системи. Це особливо актуально в моделюванні складних економічних процесів, де імітаційне моделювання може вважатися складним мистецтвом через низку особливостей, таких як недостатність фундаментальних законів та важкість вимірювання та формалізації взаємозв'язків між елементами. Такий підхід може привести як до позитивних, так і до негативних результатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню щодо імітаційного моделювання мережі масового обслуговування були присвячені праці таких вчених як Томашевський В.М. [1], Стеценко І.В., Батора Ю.В. [3] та інших.

В.М. Томашевський у своїй праці розглядав основні аспекти моделювання систем, зокрема методи та інструменти, використовувані для аналізу та оптимізації різноманітних системних структур.

І.В. Стеценко та О.В. Бойко [2] у статті досліджували методи та засоби імітаційного моделювання на основі сіток Петрі та їх застосування для аналізу та вдосконалення різних систем.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз імітаційного моделювання мережі масового обслуговування.

Виклад основного матеріалу дослідження. В імітаційному моделюванні передбачається, що систему можна описати такими термінами, які зрозумілі для обчислювальних систем. Основною ключовою точкою є виділення та опис стану системи. Система характеризується набором змінних, кожна комбінація значень яких визначає конкретний стан системи. Можна імітувати перехід системи з одного стану в інший шляхом зміни значень змінних. Імітаційне моделювання описує динамічну поведінку системи, яка рухається від одного стану до іншого відповідно до визначених операційних правил. Зміни стану системи можуть відбуватися безперервно або в дискретні періоди часу.

Хоча процедури поведінки моделей можуть відрізнятися, основною концепцією імітаційної системи є відображення змін її стану протягом певного періоду часу. Оцінка та аналіз стану системи включають постійне дослідження фактичних потоків замовлень, товарів, грошових коштів та іншого, а також спостереження за прийняттям управлінських рішень [1].

У відмінну від звичайних аналітичних моделей, імітаційні моделі не обов'язково повинні формувати однозначне рішення, задане конкретним показником чи рядом показників. Також не вимагається виключення таких результатів із моделі.

Таким чином, імітаційне моделювання може бути розглянуте як методологія, а не теорія розв'язання проблем. Однією з особливостей імітаційних моделей є практично значуще припущення, що вони можуть служити інструментом для аналізу поведінки системи в умовах, визначених експериментатором.

Таким чином, побудова імітаційних моделей в системі електронних таблиць, таких як "Microsoft Excel", з використанням вбудованих програмних функцій "пошук рішення" і "вибір параметрів", розширює можливості імітаційних експериментів та дозволяє отримувати кінцеві рішення.

Алгоритм імітації мережі масового обслуговування складається з трьох основних етапів: опису

елементів моделі, визначення стану цих елементів та опису множини подій.

Елементами мережі масового обслуговування є вхідний потік, система масового обслуговування та зв'язок. Вхідний потік характеризується інтервалом надходження вимог у мережу, який може бути випадковою або детермінованою величиною, а також номером системи масового обслуговування, до якої надходить вимога. Стан вхідного потоку визначається моментом часу, коли надходить наступна вимога у мережу масового обслуговування. У випадку, коли інтервал часу надходження вимог є випадковою величиною з відомим законом розподілу, для його розрахунку використовується генератор випадкових чисел.

Множина подій мережі масового обслуговування складається з подій двох типів: § надходження вимоги в мережу масового обслуговування; § вихід вимоги, для якої закінчився час обслуговування, з системи масового обслуговування. Упорядкування подій у часі здійснюється способом, орієнтованим на події. Просування часу здійснюється за принципом до найближчої події [2].

Систему масового обслуговування, що складається з паралельно з'єднаних пристроїв та черги перед ними, можна описати визначенням кількості пристроїв і встановленням обмежень на максимальну довжину черги.

Черга визначається обмеженням на максимальну кількість вимог, які можуть перебувати в ній, та, можливо, правилом упорядкування вимог в черзі (FIFO, LIFO, пріоритети). Стан черги визначається кількістю вимог, які перебувають у черзі, а також порядком їх розташування та моментами надходження вимог до черги.

Кожен пристрій у системі масового обслуговування характеризується тривалістю обслуговування вимог та його станом. Стан пристрою включає в себе інформацію про те, чи є він вільним, зайнятим чи заблокованим, а також момент виходу вимоги з пристрою, який вказує на завершення процесу обслуговування [3]. Якщо пристрій вільний, то відсутність вимоги в ньому призводить до нескінченності моменту виходу вимоги. У випадку блокування пристрою, вихід вимоги залежить від подій в сусідніх елементах мережі масового обслуговування, що робить момент виходу вимоги нескінченним.

Зв'язок призначений для опису маршруту вимог між системами масового обслуговування. Він вказує на походження і напрямку руху вимоги між системами. Стан зв'язку може бути заблокованим або неблокованим, залежно від умов в системі. Зв'язок також може мати розгалуження, вказуючи на можливість руху вимоги до кількох систем разом із ймовірностями для кожного маршруту, яке вирішується за значенням випадкового числа на інтервалі (0;1).

Використання об'єктно-орієнтованого підходу при розробці імітаційних моделей мереж масового обслуговування дозволяє створювати програми, які можуть функціонувати як універсальні інструменти для імітації різних мереж масового обслуговування. Витрачений час на побудову одного об'єкта відбувається в етапі створення подібних об'єктів.

Розглянемо процес побудови алгоритму імітації мережі масового обслуговування на основі об'єктно-орієнтованого підходу. Обрані об'єкти, які складають мережу масового обслуговування, включають об'єкти «вхідний потік», «СМО», «маршрут», «маршрут входу» та «маршрут виходу».

Об'єкт «вхідний потік» відповідає за генерацію вхідного потоку вимог із заданим середнім значенням інтервалу надходження вимог у мережу масового обслуговування. Об'єкт «СМО» відповідає за створення системи масового обслуговування і включає в себе задану кількість пристроїв, обмеження на довжину черги та тривалість обслуговування в пристрої. Значення цих змінних присвоюються екземпляру об'єкта за допомогою методу Create в момент його створення.

Об'єкт «маршрут» створений для управління зв'язками між СМО, а об'єкти «маршрут входу» та «маршрут виходу» відповідають за встановлення зв'язків між зовнішнім середовищем та мережею масового обслуговування. Кожен об'єкт має поля «вхід» та «вихід». Передача вимоги вздовж маршруту від однієї СМО до іншої означає переміщення вимоги від виходу об'єкта, що на початку маршруту, до входу об'єкта, що на кінці маршруту [4].

Кожен об'єкт має свої методи, які виконують дії, характерні для цього об'єкта. Наприклад, об'єкт «СМО» містить методи «зайняти СМО» та «звільнити СМО», а також методи для надання інформації про кількість зайнятих пристроїв у СМО та стан черги. Об'єкт «маршрут» має метод «передати вимогу» і метод «повідомити про кількість не обслуговуваних вимог».

Верифікація мережі масового обслуговування виконується шляхом спостереження за змінами вихідних змінних моделі при внесенні змін у вхідні змінні моделі та порівнянням їх з очікуваними змінами. Наприклад, якщо інтервал часу, з яким вимоги надходять у мережу масового обслуговування, зменшується, то очікується зменшення кількості вимог у чергах та зниження завантаження пристроїв. У випадку збільшення тривалості обслуговування вимог у пристроях певної системи масового обслуговування передбачається збільшення середньої кількості вимог у черзі цієї СМО та підвищення середнього завантаження пристроїв цієї СМО.

При вихідних значеннях вхідних змінних виявляється значна ймовірність відмов, приблизно

0,2. Примітно, що пристрої першої СМО мають високу зайнятість – 4,9 з 5 пристроїв, пристрої другої СМО в середньому зайняті частково – 5,5 з 7, а пристрої третьої СМО недостатньо зайняті – 1 з 2. Протягом 1000 одиниць модельного часу надійшло близько 5000 вимог із середнім інтервалом надходження вимог 0,2.

При подвоєнні інтервалу надходження вимог спостерігається суттєве зменшення ймовірності відмов до практично нульового рівня та зниження завантаження всіх СМО: до 3 в першій СМО, 3,5 в другій СМО і 0,7 в третій СМО. Середні довжини черг у всіх СМО стають меншими за одиницю.

Зменшення середньої тривалості обслуговування пристроєм першої СМО вдвічі призводить до помітного зменшення кількості необслужених вимог цією СМО, але збільшує кількість необслужених вимог у другій та третій СМО через обмежену кількість місць у черзі. Ймовірність відмови в мережі зменшується [5].

Збільшення кількості пристроїв у другій СМО з 7 до 9 призводить до скорочення кількості необслужених вимог цією СМО, але не суттєво змінює середню кількість зайнятих пристроїв.

Одночасне збільшення кількості пристроїв у всіх СМО призводить до очікуваного зменшення ймовірності відмови.

Збільшення інтервалу надходження вимог до 2 одиниць модельного часу призводить до нульових значень ймовірності відмови та середніх довжин черг у всіх СМО через загальне зменшення кількості вимог.

Зменшення ймовірності надходження вимог з першої СМО до другої СМО до 0 призводить до значного збільшення кількості вимог, яким відмовлено в обслуговуванні третьою СМО.

Закриття маршруту СМО1-СМО2 або СМО1-СМО3 призводить до змін у кількості вимог, яким відмовлено в обслуговуванні у відповідних СМО та завантаженні пристроїв та черг цих СМО.

Отже, зміни вхідних змінних моделі впливають на вихідні змінні, що підтверджує відповідність функціонування моделі реальній системі і можливість використання моделі для отримання практичних результатів.

Висновки з проведеного дослідження. Отож, в ході імітаційного моделювання мережі масового обслуговування, базуючись на вихідних даних, були отримані цінні інсайти щодо її функціонування. Модель дозволяє аналізувати різноманітні сценарії та експериментувати з параметрами системи.

Виявлено, що зміни вхідних змінних, таких як інтервал надходження вимог чи кількість пристроїв у системі, впливають на ймовірність відмов та завантаження пристроїв у різних СМО. Отримані результати свідчать про необхідність удосконалення режимів роботи та розподілу ресурсів у мережі для оптимізації продуктивності.

Модель також була верифікована, і результати підтверджують, що вона відображає реальні умови системи масового обслуговування. Отже, розроблена імітаційна модель може слугувати ефективним інструментом для подальших досліджень та оптимізації мереж масового обслуговування.

Список використаних джерел:

1. Томашевський В.М. Моделювання систем. Київ : видавнична група BHV. 2005. 352 с.
2. Стеценко І.В., Бойко О.В. Система імітаційного моделювання засобами сіток Петрі. *Математичні машини і системи*. Київ, 2009. № 1. С. 117–124.
3. Стеценко І.В., Батора Ю.В. Імітаційне моделювання транспортного руху через світлофорні об'єкти. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Черкасиб 2006. № 3. С. 75–79.
4. Kelton W.D., Sadowski R. P. Sadowski D. A. *Simulation with Arena*. McGraw-Hill, New York, 1998.
5. Systems Modeling Corporation: *Arena User's Guide*, Version 4.0, Sewickly, Pennsylvania. 1999.

References:

1. Tomashevskiy V. M. (2005) *Modeliuvannia system [Modeling of systems]*. Kyiv: Vydavnycha hrupa BHV, 352 p. (in Ukrainian)
2. Stetsenko I. V., Boyko O. V. (2009) *Systema imitatsiinoho modeliuvannia zasobamy sitok Petri [Simulation modeling system using Petri nets]*. Matematychni mashyny i systemy. Kyiv. No. 1, pp. 117–124. (in Ukrainian)
3. Stetsenko I. V., Batora Yu. V. (2006) *Imitatsiine modeliuvannia transportnoho rukhu cherez svitloforni obiekty [Simulation modeling of traffic through traffic lights]*. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Cherkasy*, no. 3, pp. 75–79. (in Ukrainian)
4. Kelton W. D., Sadowski R. P. Sadowski D. A. (1998) *Simulation with Arena*, McGraw-Hill, New York.
5. Systems Modeling Corporation. (1999) *Arena User's Guide*, Version 4.0, Sewickly, Pennsylvania.

E-mail: alyonaivzhenko@gmail.com