

**МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ МЕРЕЖНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ СИСТЕМ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ**

\*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

---

**Анотація.** Ситуаційне управління являє собою цілеспрямовану індивідуальну або колективну діяльність, пов'язану з розпізнаванням, поясненням і прогнозуванням ситуацій, які виникли або можуть виникнути в динамічних системах, та впливом на них з використанням відповідних концепцій, моделей і технологій. Така діяльність здійснюється у системах ситуаційного управління – організаційно-технічних комплексах підтримки управлінських рішень на основі комплексного моніторингу факторів впливу на процеси, що відбуваються в середовищі керування з використанням сучасних інформаційних технологій. Зміст процесів у системах ситуаційного управління визначається конкретними проблемами і задачами ситуаційного управління, які потребують вирішення. Для забезпечення ефективної роботи систем ситуаційного управління необхідно організувати продуктивне середовище їх функціонування. Основним призначенням систем ситуаційного управління є надання учасникам процесів ситуаційного управління організаційно-технологічних сервісів (послуг) для виконання покладених на них функцій. Тому системи ситуаційного управління можуть розглядатись як системи масового обслуговування. В роботі запропоновані формалізовані моделі опису систем ситуаційного управління та їх реалізації у вигляді ситуаційних залів. Сформульовано задачу аналізу ефективного навантаження на мережу ситуаційного залу в термінах теорії масового обслуговування та проведено імітаційне моделювання процесів оброблення заявок на обслуговування від автоматизованих робочих місць ситуаційного залу при різних дисциплінах обслуговування. На основі аналізу результатів імітаційного моделювання визначено часові показники ефективного завантаження мережної інфраструктури ситуаційного залу.

**Ключові слова:** системи ситуаційного управління, системи масового обслуговування, імітаційне моделювання, архітектура «клієнт-сервер».

**Аннотация.** Ситуационное управление представляет собой целенаправленную индивидуальную или коллективную деятельность, связанную с распознаванием, объяснением и прогнозированием ситуаций, которые возникли или могут возникнуть в динамических системах, и воздействием на них с использованием соответствующих концепций, моделей и технологий. Такая деятельность осуществляется в системах ситуационного управления – организационно-технических комплексах поддержки управленческих решений на основе комплексного мониторинга факторов влияния на процессы, происходящие в среде управления с использованием современных информационных технологий. Содержание процессов в системах ситуационного управления определяется конкретными проблемами и задачами ситуационного управления, которые требуют решения. Для обеспечения эффективной работы систем ситуационного управления необходимо организовать продуктивную среду их функционирования. Основным назначением систем ситуационного управления является предоставление участникам процессов ситуационного управления организационно-технологических сервисов (услуг) для выполнения возложенных на них функций. Поэтому системы ситуационного управления могут рассматриваться как системы массового обслуживания. В работе предложены формализованные модели описания систем ситуационного управления и их реализации в виде ситуационных залов. Сформулирована задача анализа эффективной нагрузки на сеть ситуационного зала в терминах теории массового обслуживания и проведено имитационное моделирование процессов обработки заявок на обслуживание от автоматизированных рабочих мест ситуационного зала при различных дисциплинах обслуживания. На основе анализа результатов имитационного моделирования определены временные показатели эффективной загрузки сетевой инфраструктуры ситуационного зала.

**Ключевые слова:** системы ситуационного управления, системы массового обслуживания, имитационное моделирование, архитектура «клиент-сервер».

**Abstract.** Situation management is an aimed individual or collective activity associated with the recognition, explanation and prediction of situations that have arisen or may occur in dynamic systems, and the impact on them using the appropriate concepts, models and technologies. Such activities are carried out in situation management systems – organizational and technical complexes supporting management decisions based on integrated monitoring of factors influencing the processes occurring in the management environment using modern information technologies. The content of the processes in the systems of situation management is determined by specific problems and tasks of situation management that require solving. To ensure the effective operation of situation management systems, it is necessary to organize a productive environment for their operation. The main purpose of situation management systems is to provide the participants of the situation management processes with organizational and technological services to perform the functions assigned to them. Therefore, situation management systems can be considered as queuing systems. In this paper, formalized models of description of situation management systems and their implementation in the form of situation rooms are proposed. The task of analyzing the effective loading on the network of the situation room in terms of queuing theory has been formulated and simulation modeling of the processing of applications for service from the automated workplaces of the situation room under various servicing disciplines has been carried out. Based on the analysis of simulation results, the temporal indicators of effective loading of the network infrastructure of the situation room are determined.

**Keywords:** situation management systems, queuing systems, simulation modeling, client-server architecture.

## 1. Вступ

Розробка складних інформаційних систем, зокрема, систем підтримки прийняття рішень, вимагає проведення попереднього дослідження таких систем, у тому числі з використанням імітаційних моделей, для перевірки ефективності закладених в основу системи концепцій, архітектурних і конструктивних рішень. Враховуючи складність організації проблемно-орієнтованих інформаційних систем, їх слід розглядати як багаторівневі архітектури, кожен рівень в яких забезпечує функціональність відповідного рівня абстракції моделі інформаційної системи. У моделі проблемно-орієнтованої інформаційної системи можна виділити такі рівні представлення (абстракції):

1. Протокольний (мережний, інфраструктурний) рівень.
2. Операційний (командний) рівень.
3. Процедурний рівень – стандартні (типові) процедури функціонування.
4. Організаційний рівень – організовані сукупності процедур для забезпечення вирішення задач функціонування інформаційних систем.
5. Інфологічний рівень – бази даних і знань.
6. Проблемний рівень – рівень вирішення прикладних задач.

Кожен рівень характеризується множинами таких компонентів:

- алфавітом;
- словником (станами відповідного рівня);
- правилами обробки слів (функціями);
- правилами побудови ієрархій (розподілом функцій між рівнями);
- правилами трансформації функцій на кожному рівні (інтерфейси, суперпозиція функцій).

Враховуючи складність і багаторівневість абстрактного опису проблемно-орієнтованої інформаційної системи, до імітаційної моделі системи можна висунути такі вимоги:

- апаратна (конструктивна) інтерпретація;
- можливість коректного ієрархічного подання;
- можливість представлення паралельних процесів;

- можливість оперування параметрами середовища (змінні, стани, переходи, час та ін.);
- можливість розширення функцій моделі системи користувачем доступними засобами (функції користувача);
- можливість автоматичної генерації програмного коду;
- урахування історії станів компонентів системи.

## 2. Постановка задачі імітаційного моделювання ССУ

Особливістю функціонування систем ситуаційного управління (ССУ) як окремого типу проблемно-орієнтованих інформаційних систем є необхідність забезпечення в них функціонування в режимі реального часу і підтримка процедур і процесів колегіального обговорення і прийняття рішень [1]. Тобто виникає необхідність моделювання розподіленого гетерогенного керованого подіями (реактивного) інформаційного середовища, що функціонує в реальному часі. Будемо вважати, що керована подіями (реактивна) система – це динамічна система, яка сприймає зовнішні дискретні впливи і відповідає своїми реакціями на ці впливи.

Таким чином, для імітаційного моделювання ССУ необхідно визначити такі характеристики компонентів кожного з рівнів:

- стани;
- переходи (безумовні);
- події (визначаються середовищем функціонування);
- дані (визначаються середовищем функціонування);
- вузлові точки (умовні переходи, точки прийняття рішень);
- умови переходів;
- переходи за умовчанням;
- дії (підтримується мовою дій);
- паралелізм;
- ієрархія (відношення предок-нащадок) для станів і переходів;
- хронологія спрацювання.

Ефективним засобом аналітичного дослідження та імітаційного моделювання структурованих реактивних дискретних систем є програмне середовище комп'ютерної математики MATLAB-Simulink з пакетом StateFlow.

Засоби MATLAB-Simulink-StateFlow дозволяють створювати ієрархічні розподілені імітаційні моделі динамічних систем, які можуть містити різнорідні компоненти і відображати як функціональний, так і структурний аспект побудови модельованої системи. В роботі [2] для опису імітаційної моделі застосовується математична модель динамічної системи, що визначається сукупністю множин і відображень:

$$MM_{DC} = \langle T, X, \Omega, H, Z, Y, \Phi_1, \Phi_2 \rangle, \quad (1)$$

де  $T$  – універсум відношень між елементами системи,  $X = X_1 \times \dots \times X_{NX}$  – простір вхідних впливів,  $\Omega = \Omega_1 \times \dots \times \Omega_{N\Omega}$  – простір впливів зовнішнього середовища,  $H = H_1 \times \dots \times H_{NH}$  – простір внутрішніх параметрів системи,  $Z = Z_1 \times \dots \times Z_{NZ}$  – простір внутрішніх станів системи,  $Y = Y_1 \times \dots \times Y_{NY}$  – простір вихідних і залежних змінних,  $\Phi_1(z_0, x(t), h(t), \omega(t), t) = z(t) = (z_1(t), \dots, z_{NZ}(t))^T \in Z$  – оператор зміни внутрішніх станів системи в залежності від початкового внутрішнього стану та зміни з часом вхідних впливів, внутрішніх параметрів, зовнішнього середовища,  $\Phi_2(z(t), t) = y(t) = (y_1(t), \dots, y_{NY}(t))^T \in Y$  – оператор зміни виходів системи в залежності від зміни внутрішніх станів системи.

Така математична модель є цілком адекватною при моделюванні систем на одному рівні ієрархії (горизонтальна модель) і не відображає трансформацію функцій і цілей системи на різних рівнях ієрархії. Тому на основі моделі (1) може бути створена ієрархічна математична модель:

$$\text{ИММ}_{\text{ДС}} = \langle \text{ММ}_{\text{ДС}}^i, \Phi_3^{i-1}(\Gamma_{i-1}^{\sim}) \rangle, \quad (2)$$

де  $i = 1, \dots, m$  – номер рівня абстракції представлення моделі,  $\Phi_3^{i-1}(\Gamma_{i-1}^{\sim})$  – оператор трансформації функцій і цілей між рівнями абстракції  $i-1$  та  $i$ ,  $\Gamma_{i-1}^{\sim} = \Gamma_i \cap \Gamma_{i-1}$  – відношення між рівнями абстракції імітаційної моделі. Оскільки характеристики модельного середовища кожного з рівнів однакові, то відмінність моделювання різних рівнів полягає у семантиці компонентів моделі кожного з рівнів, причому семантика компонентів повинна відповідати рівню абстракції представлення даного рівня.

Крім вищеназваних вимог до ССУ та особливостей їх використання, слід також зауважити необхідність забезпечення багатофункціональності, адаптивності та ефективності застосування таких систем на основі типових архітектурних рішень. Тому задача створення ССУ певного призначення формулюється як задача конфігурування заданої інформаційної інфраструктури для вирішення конкретних прикладних задач з урахуванням обмежень цієї інфраструктури. Цільова функція побудови проблемно-орієнтованої інформаційної системи може бути сформульована в вигляді набору вимог до ресурсів: обчислювальних, інформаційних, комунікаційних, організаційних, часових та інших, а обмеження інфраструктури – у вигляді наявної можливості надання ресурсів, в яких є потреба. Деякі з підходів до оптимізації архітектур інформаційних систем з урахуванням наявних ресурсів та ефективності їх застосування описано в роботах [3, 4].

Таким чином, запропонована ієрархічна математична модель забезпечує адекватне представлення семантики різних рівнів представлення системи без втрати цілісності подання системи в цілому і може бути використана для імітаційного моделювання проблемно-орієнтованих інформаційних систем із застосуванням пакета MATLAB-Simulink-StateFlow на основі теорії масового обслуговування.

### 3. Модель системи масового обслуговування для ССУ

Системи масового обслуговування (СМО), до яких відносяться ССУ, є класом математичних схем, розроблених в теорії масового обслуговування і різних застосуваннях для формалізації процесів функціонування систем, які за своєю суттю є процесами обслуговування.

Як процес обслуговування можуть бути представлені різні по своїй фізичній природі процеси функціонування економічних, виробничих, технічних і інших систем, наприклад, потоки постачань продукції деякому підприємству, потоки деталей і комплектуючих виробів на складальному конвеєрі цеху та ін. При цьому характерною для таких об'єктів є випадкова поява заявок (вимог) на обслуговування і завершення обслуговування у випадкові моменти часу, тобто стохастичний характер процесу їх функціонування.

Таким чином, можуть бути представлені різні по своїй фізичній природі процеси: економічні, технічні, виробничі та ін.

У СМО можна виділити два стохастичні процеси:

- надходження заявок на обслуговування;
- обслуговування заявок.

Потік подій – послідовність подій, що відбуваються одна за одною в деякі моменти часу. У СМО виділятимемо два потоки:

- вхідний потік – множина моментів часу надходження в систему заявок;

– потік обслуговування – множина моментів закінчення обробки системою заявок.

У загальному випадку СМО елементарного виду може бути представлена, як це показано на рис. 1.

Потік подій однорідний, якщо він характеризується тільки моментами надходження цих подій і задається послідовністю  $\{t_n\}$ , де  $\{t_n\} = \{0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n \leq \dots\}$ .

Потік подій неоднорідний, якщо він задається послідовністю  $\{t_n, f_n\}$ , де  $t_n$  – моменти надходження подій, а  $f_n$  – набір ознак події (пріоритети, приналежність тому або іншому джерелу, тип каналу для його обслуговування та ін.).

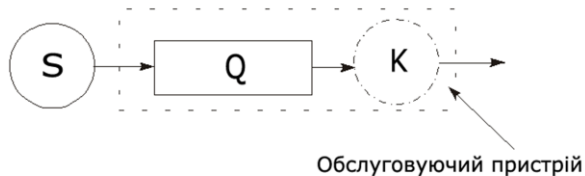


Рисунок 1 – Система масового обслуговування елементарного виду:  $S$  – джерело,  $Q$  – накопичувач (черга),  $K$  – канал обслуговування

Потік регулярний, якщо події поступають через рівні проміжки часу.

Відповідно, потік нерегулярний, якщо інтервали між подіями є випадкові величини.

Режим обробки заявок на обслуговування, який використовується при надходженні в систему обслуговування, коли зайняті усі обслуговуючі прилади, визначає завдання типу

СМО:

- системи із втратами (відмовами);
- системи з чергами.

У системах із чергами заявки, які не можуть бути обслужені відразу, складають чергу і за допомогою деякої дисципліни обслуговування вибираються з неї. Найбільш вживані дисципліни обслуговування:

- 1) FIFO (first in - first out) – в порядку надходження;
- 2) LIFO (last in – first out) – першою обслуговується заявка, що поступила останньою;
- 3) SIRO (service in random order) – обслуговування у випадковому порядку;
- 4)  $Pr$  – пріоритетні системи.

*Нотація Кендалла*

Для короткого опису СМО Д. Кендалл увів символіку (нотацію) такого виду [5]:

$$A / B / S / m ,$$

де  $S$  – число обслуговуючих приладів,  $m$  – кількість місць очікування (місткість накопичувача).  $A$  і  $B$  характеризують, відповідно, потік заявок і потік обслуговування, задаючи функцію розподілу інтервалів між заявками у вхідному потоці і функцію розподілу часів обслуговування.  $A$  і  $B$  можуть набувати таких значень:

- $D$  – детермінований розподіл;
- $M$  – показове (марківський процес);
- $Er$  – розподіл Ерланга порядку  $r$ ;
- $Hr$  – гіперпоказове;
- $G$  – розподіл загального вигляду.

При цьому мається на увазі, що потоки є рекурентними, тобто інтервали між подіями незалежні і мають однаковий розподіл.

Іноді в нотацію Д. Кендалла додають ще один символ  $/k$  – кількість джерел заявок:

$$A / B / S / m [ / k ] .$$

Базовою моделлю для аналізу систем масового обслуговування є простий (елементарний) потік [6]. Для простого потоку число подій, що потрапляють на будь-який фіксований інтервал часу, підкоряється закону Пуассона, тому його також називають стаціонарним пуассонівським потоком. Для пуассонівського потоку ймовірність того, що за інтервал часу  $\tau$  станеться рівно  $m$  подій, визначається як [6]:

$$P_m(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^m}{m!} e^{-\lambda\tau}, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність простого потоку заявок.

Умова відсутності залежності між надходженням заявок на обслуговування (заявки поступають незалежно одна від одної) є найсуттєвішою умовою для простого потоку. Важлива роль простого потоку при моделюванні визначається такими обставинами:

- 1) прості або близькі до них потоки часто зустрічаються на практиці;
- 2) при аналізі СМО можна отримати цілком задовільні результати, замінюючи вхідний потік будь-якої структури простим з тією ж інтенсивністю;
- 3) при підсумуванні великого числа ординарних стаціонарних потоків із практично будь-яким наслідком виходить потік як завгодно близький до простого (умова – потоки повинні мати рівномірно малий вплив на суму потоків).

Простий потік є «стохастичним» потоком, який задає найбільш напружений режим роботи для моделі, і тому реальні характеристики модельованої системи будуть не гіршими, ніж отримані в результаті експерименту з заміною реальних потоків на прості оцінки характеристик потоків із пуассонівським розподілом надходження заявок на обслуговування.

Діяльність, пов'язана з ситуаційним управлінням, у ССУ проводиться на базі організаційно-технічних комплексів ситуаційних залів (ситуаційних кімнат, ситуаційних центрів), обладнаних мережними комп'ютерними засобами та автоматизованими робочими місцями (АРМ) учасників процесів ситуаційного управління.

#### 4. Імітаційні моделі для мережі АРМів ситуаційного залу

Для створення і дослідження властивостей мережі Ситуаційного залу (СЗ) використовуються засоби MATLAB-Simulink. Метою дослідження є визначення параметрів завантаження мережі в залежності від інтенсивності надходження заявок (або опитування) АРМів СЗ.

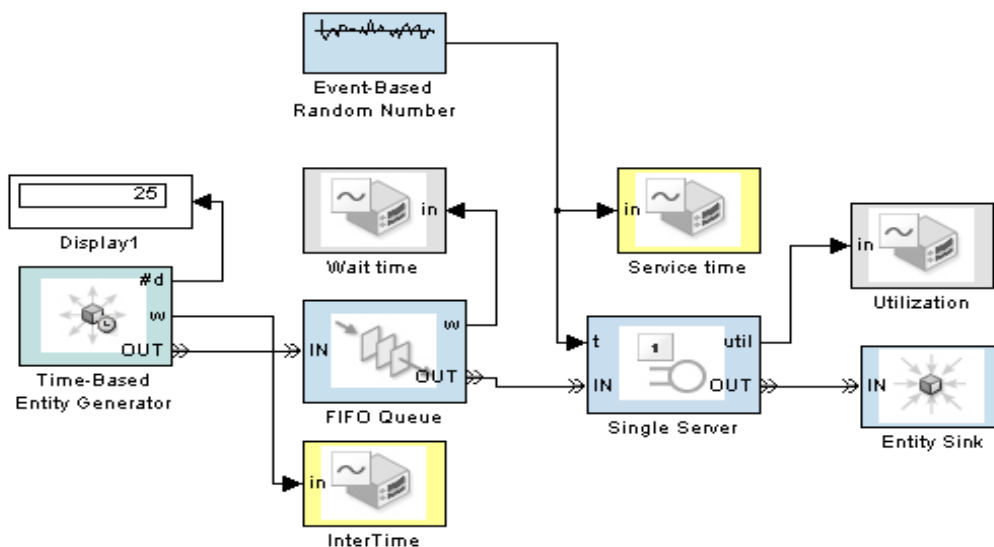


Рисунок 2 – Модель СМО типу D/D/1

Однією з найпростіших моделей СМО є модель з детермінованим розподілом та обслуговуванням заявок на одному обслуговуючому пристрої, тобто, за нотацією Кендалла, D/D/1. Реалізація моделі СМО типу D/D/1 у середовищі MATLAB-Simulink з детермінованим потоком заявок і детермінованим часом обслуговування має вигляд, наведений на рис. 2 [7].

Залежність між інтенсивністю надходження заявок і завантаженням сервера наведено на рис. 3, а залежність між інтенсивністю надходження заявок і часом очікування в черзі наведено на рис. 4.

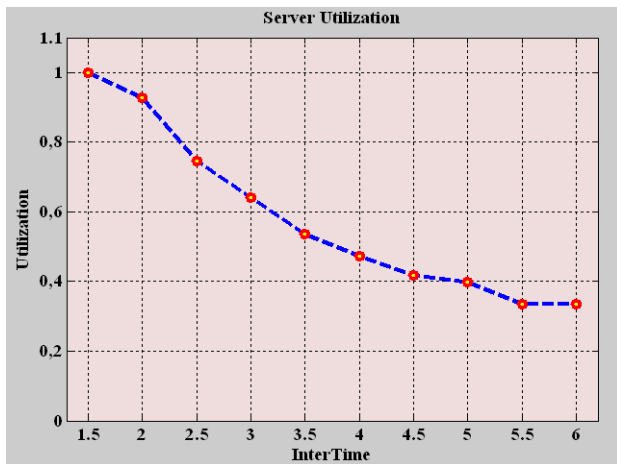


Рисунок 3 – Залежність між інтенсивністю надходження заявок і завантаженням сервера

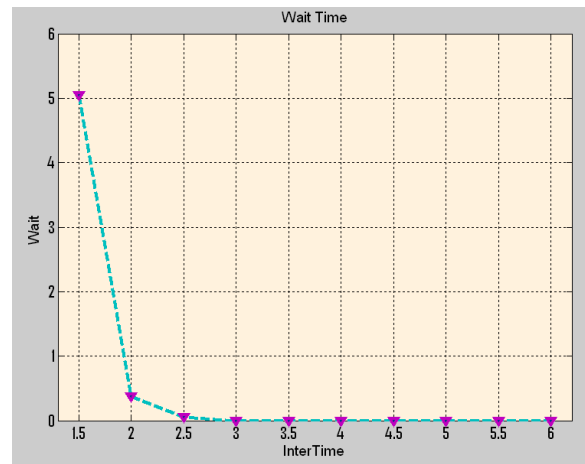


Рисунок 4 – Залежність між інтенсивністю надходження заявок і часом очікування в черзі

Більш наближеною до реальних умов є модель з показовим розподілом надходження і обробки заявок на одному обслуговуючому пристрої (марківський процес). Модель СМО типу M/M/1 має вид, наведений на рис. 5.

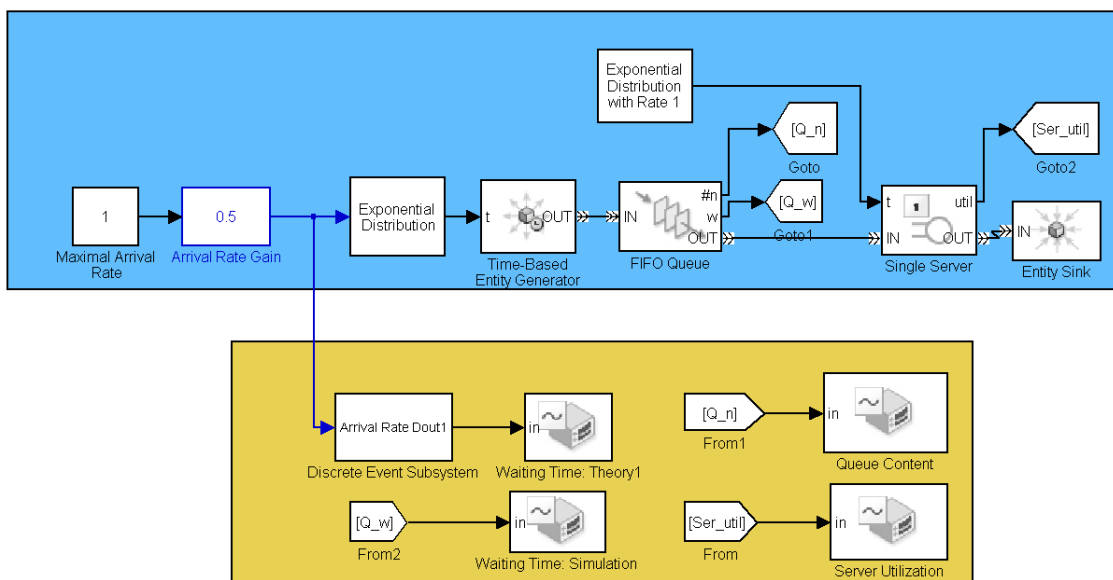
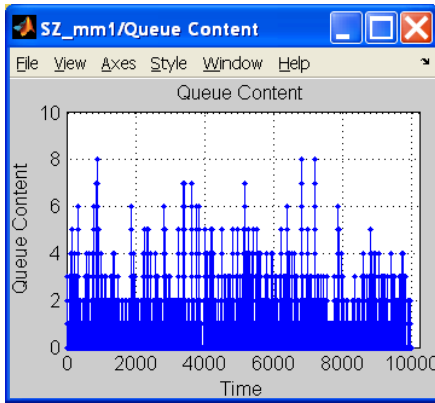
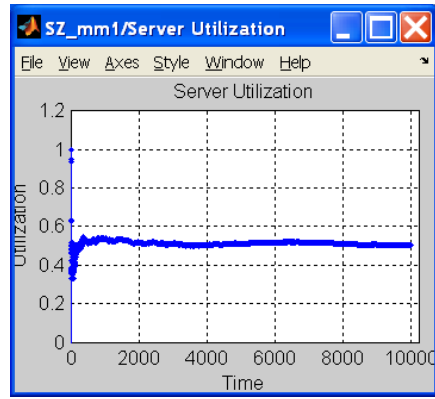


Рисунок 5 – Модель СМО типу M/M/1

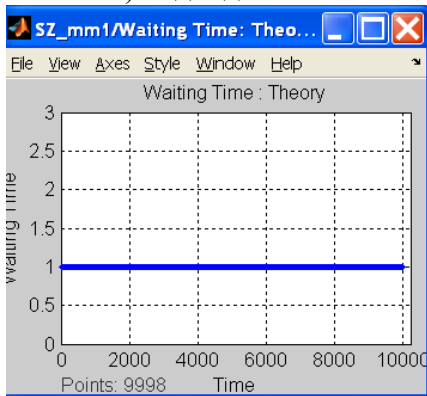
Співвідношення між теоретичними параметрами та моделлю при різних інтенсивностях потоку заявок показано на рис. 6 та 7.



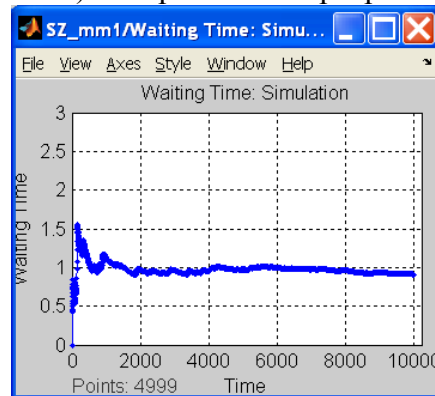
а) надходження заявок



б) використання сервера

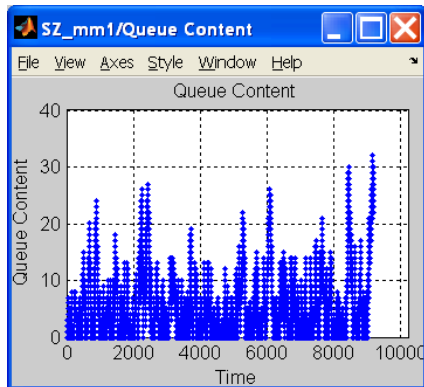


в) теоретичне очікування

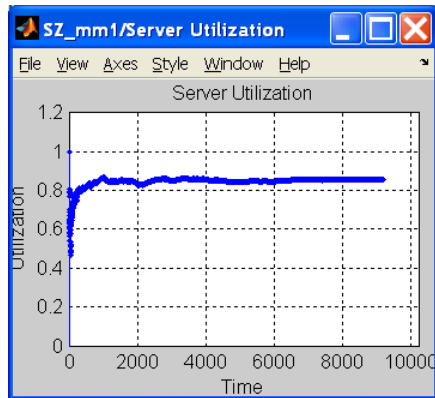


г) модельне очікування

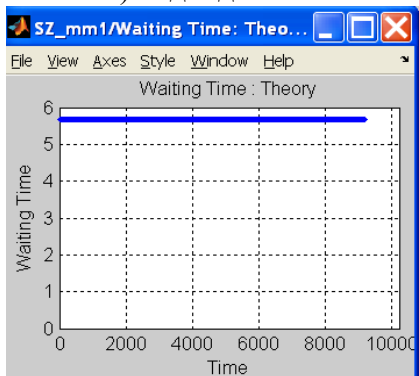
Рисунок 6 – Інтенсивність надходження заявок  $\lambda_p = 0,5$



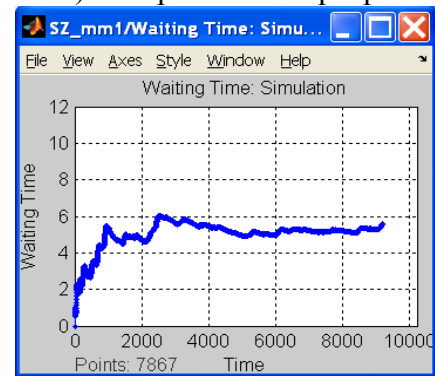
а) надходження заявок



б) використання сервера



в) теоретичне очікування



г) модельне очікування

Рисунок 7 – Інтенсивність надходження заявок  $\lambda_p = 0,85$



Як видно із результатів моделювання в системах з марківськими процесами надходження і обробки заявок при інтенсивностях надходження заявок вище середнього рівня, значно збільшується навантаження на сервер і чергу, що при обмеженості черги може призвести до втрат пакетів.

Модель СМО типу M/D/1 з марківським потоком заявок і детермінованим часом обслуговування має вигляд, наведений на рис. 8.

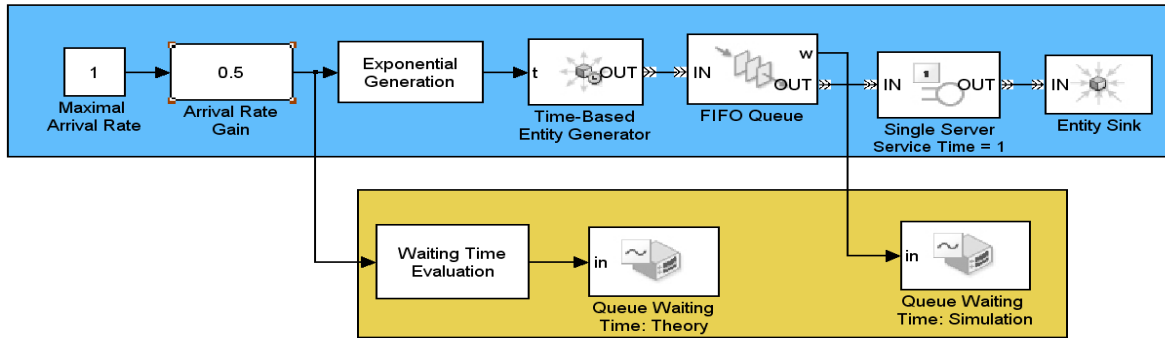
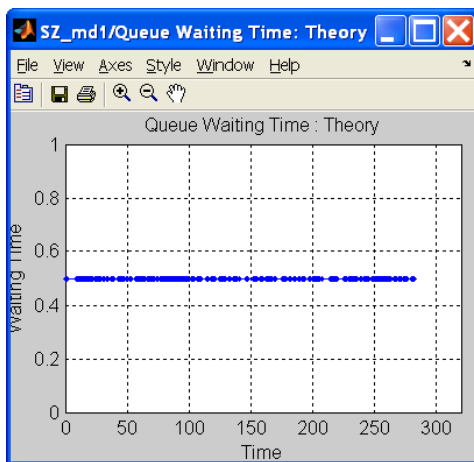
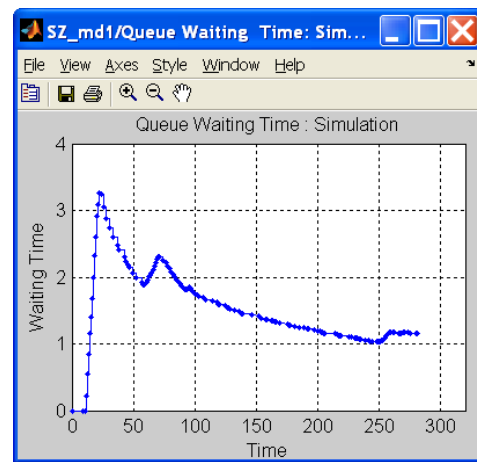


Рисунок 8 – Модель СМО типу M/D/1

Співвідношення між теоретичними параметрами та моделлю при різних інтенсивностях потоку заявок показано на рис. 9 та 10.

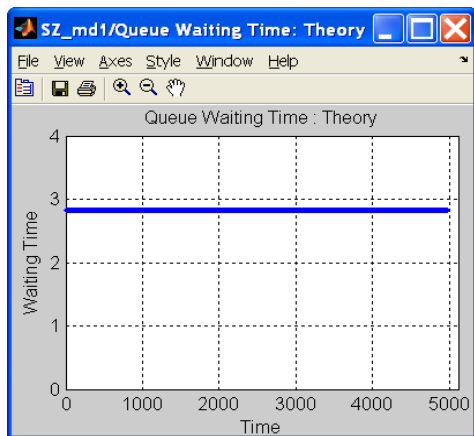


а) теоретичне очікування

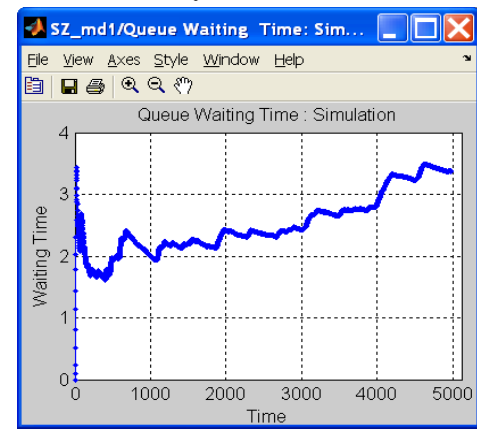


б) модельне очікування

Рисунок 9 – Інтенсивність надходження заявок  $\lambda_p = 0,5$



а) теоретичне очікування



б) модельне очікування

Рисунок 10 – Інтенсивність надходження заявок  $\lambda_p = 0,85$

Як видно з результатів моделювання, при збільшенні потоку заявок збільшуються очікування у черзі, але це зростання є меншим, ніж у моделі М/М/1.

## 5. Висновки

Моделювання комп'ютерних інформаційних систем колективної обробки дозволяє обґрунтувати застосовані в них технічні рішення та дисципліни обслуговування. Застосування математичного апарату систем масового обслуговування дозволяє провести таке моделювання для різних дисциплін обслуговування з різною кількістю обслуговуючих пристроїв. Для моделювання було обрано архітектуру системи масового обслуговування з одним обслуговуючим пристроєм (сервером) та множиною пристроїв – генераторів заявок (клієнтів). Моделювання проводилось для комбінованих режимів надходження та обслуговування заявок, що відповідають детермінованому та марківському процесам. Імітаційне моделювання проводилось у порівнянні з теоретичними моделями.

Результати моделювання показали, що інтенсивність заявок на обслуговування сервером не повинна перевищувати максимального часу обробки транзакції сервером. Оскільки експериментально було визначено, що цей час становить близько 18 мс, то заявки мають надходити з періодом не більше 18 мс, або потрібно забезпечити утримання заявки на обслуговування протягом часу  $n \times 18$  мс, де  $n$  – це кількість клієнтів мережі (АРМ), що вимагають обслуговування.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Vlasova T., Kovalenko O., Kosolapov V. Organizational-Information Technology for Providing and Decisions Making in Situational Management. *Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics*. 2018. Vol. 2018. P. 152–157. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336176.
2. Алгазинов Э.К., Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем. М.: Диалог-Мифи, 2009. 416 с.
3. Kovalenko O. Efficiency of Corporate Electronic Learning. *Управленски, информационни и маркетингови аспекти на икономическото развитие на балканските страни*: сб. доклади от междунар. научна конф. (София, 4 ноември 2005 г.). София: Университет за национално и световно стопанство, 2005. С. 197–208.
4. Коваленко О.Є. Оптимізація архітектур модульних систем електронного навчання. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки*: зб. наук. праць / Кам'янець-Подільський національний університет, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет, 2008. Вип. 1. С. 95–99. DOI: 10.32626/2308-5916.2008-1.95-99.
5. Kendall D.G. Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain. *The Annals of Mathematical Statistics*. 1953. Vol. 24, N 3. P. 338–254.
6. Таха Хемди А. Глава 17: Системы массового обслуживания. *Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction*. 7-е изд. М.: Вильямс, 2007. С. 629–697.
7. Гулиус В.А. Интеллектуальная модель системы массового обслуживания с очередью типа D/D/1 в среде SimEvents (MATLab/SimuLink). URL: [http://model.exponenta.ru/cl\\_gva\\_02.html](http://model.exponenta.ru/cl_gva_02.html).

Стаття надійшла до редакції 12.03.2019