

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І. МЕЧНИКОВА  
Кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем



**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор з науково-педагогічної роботи

\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

***OK10 «Імітаційне моделювання систем»***

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ Другий (магістерський)

Галузь знань \_\_\_\_\_ 12 – Інформаційні технології

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 – Комп'ютерна інженерія

(код і назва спеціальності)

Освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ Комп'ютерна інженерія

(назва ОПП/ОНП)

Робоча програма навчальної дисципліни «Імітаційне моделювання систем». – Одеса: ОНУ, 2024. – 12 с.

Розробники:

Малахов Є.В., д-р техн. наук, професор, зав. кафедри МЗКС

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри математичного забезпечення комп'ютерних систем

Протокол № 1 від. "28" 08 2024 р.

Завідувач кафедри

  
(підпис)

( Євгеній МАЛАХОВ )  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Погоджено із гарантом ОПП «Комп'ютерна інженерія»

  
(підпис)

( Юрій ГУНЧЕНКО )  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) з ІТ спеціальностей факультету МФІТ

Протокол № 1 від. "30" 08 2024 р.

Голова НМК

  
(підпис)

( Лариса МАРТИНОВИЧ )  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри \_\_\_\_\_

Протокол № \_\_\_\_ від. " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

( \_\_\_\_\_ )  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри \_\_\_\_\_

Протокол № \_\_\_\_ від. " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

( \_\_\_\_\_ )  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників          | Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти       | Характеристика навчальної дисципліни  |                       |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
|                                  |                                                                       | денна форма навчання                  | заочна форма навчання |
| Загальна кількість: кредитів – 4 | Галузь знань<br><u>12 – Інформаційні технології</u><br>(шифр і назва) | Обов’язкова                           |                       |
| годин – 120                      | Спеціальність<br><u>123 – Комп’ютерна інженерія</u><br>(шифр і назва) |                                       |                       |
| змістових модулів – 5            | Рівень вищої освіти:<br><u>Другий</u><br>( <u>магістерський</u> )     | <b>Рік підготовки:</b>                |                       |
| ІНДЗ* – _____<br>(вид завдання)  |                                                                       | 1                                     |                       |
|                                  |                                                                       | <b>Семестр</b>                        |                       |
|                                  |                                                                       | 2                                     |                       |
|                                  |                                                                       | <b>Лекції</b>                         |                       |
|                                  |                                                                       | 20 год.                               |                       |
|                                  |                                                                       | <b>Практичні, семінарські</b>         |                       |
|                                  |                                                                       |                                       |                       |
|                                  |                                                                       | <b>Лабораторні</b>                    |                       |
|                                  |                                                                       | 20 год.                               |                       |
|                                  |                                                                       | <b>Самостійна робота</b>              |                       |
|                                  |                                                                       | 80 год.                               |                       |
|                                  |                                                                       | <b>Індивідуальне завдання:</b><br>—   |                       |
|                                  |                                                                       | Форма підсумкового контролю:<br>іспит |                       |

\* – за наявності

## 2. Мета дисципліни

**Метою** є вивчення студентами методів та засобів побудови моделей на підставі теорії масового обслуговування, засобів визначення характеристик та дослідження поведінки складних об'єктів, вивчення альтернативних засобів моделювання процесів, а також придбання практичних навиків побудови імітаційних моделей з використанням спеціалізованих мов програмування, зокрема, GPSS.

### **Завдання:**

- ознайомлення з основами теорії масового обслуговування;
- вивчення засобів побудови імітаційних моделей;
- вивчення мови імітаційного моделювання GPSS;
- підготовка до виконання дипломних проектів та кваліфікаційних робіт, тематика яких пов'язана з дослідженням, аналізом та прогнозуванням комп'ютерних систем та мереж, а також обчислювальних процесів.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

#### 1) загальних:

*ЗК2. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.*

*ЗК3. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні.*

*ЗК4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.*

*ЗК7. Здатність приймати обґрунтовані рішення.*

#### 2) фахових:

*СК1. Здатність до визначення технічних характеристик, конструктивних особливостей, застосування і експлуатації програмних, програмно-технічних засобів, комп'ютерних систем та мереж різного призначення.*

*СК4. Здатність будувати та досліджувати моделі комп'ютерних систем та мереж.*

*СК10. Здатність ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу програмно-технічних засобів, комп'ютерних систем, мереж та їхніх компонентів;*

*СК11. Здатність обирати ефективні методи розв'язування складних задач комп'ютерної інженерії, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення.*

*СК12. Здатність використовувати методи аналізу, ідентифікації й синтезу комп'ютерних систем та мереж, кіберфізичних систем, ІТ-інфраструктур.*

*СК13. Здатність застосовувати математичний апарат для аналізу, дослідження, проектування, синтезу, програмного та алгоритмічного забезпечення комп'ютерних систем, мереж, та їх складових.*

*СК14. Здатність досліджувати, проектувати та моделювати елементи кіберфізичних систем з використанням сучасних науково-технічних методів.*

### **Програмні результати навчання:**

*РН1. Застосовувати загальні підходи пізнання, методи математики, природничих та інженерних наук до розв'язання складних задач комп'ютерної інженерії.*

*РН2. Знаходити необхідні дані, аналізувати та оцінювати їх.*

*РН3. Будувати та досліджувати моделі комп'ютерних систем і мереж, оцінювати їх адекватність, визначати межі застосовності.*

*РН6. Аналізувати проблематику, ідентифікувати та формулювати конкретні проблеми, що потребують вирішення, обирати ефективні методи їх вирішення.*

*РН7. Вирішувати задачі аналізу та синтезу комп'ютерних систем та мереж.*

*РН14. Планувати і виконувати наукові дослідження в сфері комп'ютерної інженерії, формулювати і перевіряти гіпотези, обирати методики та інструменти, аналізувати результати, обґрунтовувати висновки.*

*РН15. Застосовувати сучасні науково-технічні методи досліджування, проектування та моделювання елементів кіберфізичних систем.*

**Очікувані результати навчання.** У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

**знати:** методи та засоби побудови моделей різних видів, засоби визначення характеристик складних об'єктів, засоби дослідження поведінки складних об'єктів, методи математичного моделювання, методи теорії масового обслуговування, методи часового моделювання.

**вміти:** будувати аналітичні та імітаційні моделей систем та процесів у різних галузях застосування, розраховувати моделі та їхні характеристики, випрацьовувати рекомендації щодо вдосконалення систем, використовувати спеціалізовані мови моделювання (програмування), зокрема, GPSS.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Змістовний модуль 1.** Вступ до моделювання. Потoki подій.

**Тема 1.** Класифікація моделей. Властивості характеристик моделей. Елементи теорії масового обслуговування.

1.1. Фізичні моделі. Абстрактні моделі: концептуальні та математичні. Види математичних моделей.

1.2. Властивості, що визначають ефективність моделей.

1.3. Системи та мережі масового обслуговування, їхні параметри та характеристики.

Література: [1, 2, 3].

**Тема 2.** Потoki подій.

2.1. Розподіл Пуассона. Найпростіший потік.

2.2. Особливості найпростішого потоку.

2.3. Отримання потоку Ерланга. Параметри та характеристики. Генератор потоку Ерланга.

2.4. Генератор гіперекспоненціального потоку. Коефіцієнт варіації.

Література: [1, 2, 3, 9].

**Змістовний модуль 2.** Однорідні системи масового обслуговування.

**Тема 3.** Система масового обслуговування М/М/1.

3.1. Параметри та характеристики систем масового обслуговування. Завантаження обслуговуючого приладу. Мнемоніка Башаріна-Кендала.

- 3.2. Розрахунок СМО М/М/1: стаціонарні ймовірності, кількість заявок в системі, кількість заявок в черзі. Рівняння Літгла. Середній час очікування в черзі.  
Література: [1, 2, 6].

**Тема 4.** Система масового обслуговування М/М/Н.

- 4.1. Розрахунок СМО М/М/1: стаціонарні ймовірності, кількість заявок та середній час очікування в черзі.  
Література: [1, 2, 6].

**Тема 5.** Системи масового обслуговування М/М/1//К та М/Г/1.

- 5.1. Розрахунок СМО М/М/1//К: стаціонарні ймовірності, кількість заявок в системі, середня довжина черги.  
5.2. Розподіл загального виду. Приклад системи М/Е<sub>3</sub>/1. Формули Поллачека-Хінчіна. Другий початковий момент тривалості обслуговування заявок. Середня кількість заявок в системі М/Г/1.  
Література: [1, 2, 6].

**Змістовний модуль 3.** Неоднородні системи масового обслуговування.

**Тема 6.** Неоднородні системи масового обслуговування.

- 6.1. СМО М/Г/1 з М потоками вимог. Сумарні параметри та характеристики та формули Літгла для них. Закон збереження часу очікування в черзі.  
6.2. Система масового обслуговування М/Г/1 з безпріоритетною дисципліною обслуговування (ДО БП). Розрахунок середнього часу очікування.  
6.3. Система масового обслуговування М/Г/1 з дисципліною обслуговування з відносними пріоритетами (ДО ВП). Розрахунок часу очікування заявок  $k$ -го типу.  
6.4. Система масового обслуговування М/Г/1 з дисципліною обслуговування з абсолютними пріоритетами (ДО АП). Розрахунок часу очікування заявок  $k$ -го типу.  
6.5. Система масового обслуговування М/Г/1 з дисципліною обслуговування зі змішаними пріоритетами (ДО ЗП). Розрахунок часу очікування заявок  $k$ -го типу. Матриця пріоритетів.  
Література: [1, 2, 6].

**Тема 7.** Застосування моделі на підставі СМО М/Г/1.

- 7.1. Системи обробки даних та управляючі системи. Системи без обмеження на час обробки заявок. Функція штрафу.  
7.2. Системи з відносними обмеженнями на час обробки заявок. Застосування закону збереження часу очікування.  
7.3. Системи з абсолютними обмеженнями на час обробки заявок. Ймовірність перевищення допустимого часу очікування. Розрахунок обсягу пам'яті, необхідної для зберігання черги заявок.  
Література: [1, 2, 6].

**Змістовний модуль 4.** Мережі масового обслуговування.

**Тема 8.** Розімкнені мережі масового обслуговування (РММО).

- 8.1. Параметри та характеристики РММО. Теорема Джексона для РММО.  
8.2. Методика розрахунку РММО.  
Література: [1, 6, 7].

**Тема 9.** Замкнені мережі масового обслуговування (ЗММО).

- 9.1. Параметри та характеристики ЗММО. Теорема Джексона для ЗММО.

9.2. Методика розрахунку ЗММО.

9.3. Алгоритм Б'юзена для розрахунку ЗММО. Переваги та недоліки моделей на підставі ЗММО.

Література: [1, 6, 7].

**Тема 10.** Застосування моделей на підставі мереж масового обслуговування.

10.1. Перетворення ЗММО до еквівалентної або толерантної їй ЗММО та ЗММО до толерантної їй РММО („розвалення“ мережі).

10.2. Агрегування. Припущення при розрахунку аналітичних моделей.

Література: [1, 6, 7].

**Змістовний модуль 5.** Імітаційне моделювання на підставі зважених орієнтованих графів (сіток).

**Тема 11.** Елементи сіток. Хвильовий алгоритм моделювання мереж (часове моделювання).

11.1. Функція гілки. Функції вузла. Функція стану гілки.

11.2. Фронт моделювання. „Звершення” вузла. Визначення характеристик сітки.

Література: [14, конспект лекцій с. 65-72].

#### 4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем                                                                | Кількість годин |              |   |     |    |        |              |   |     |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---|-----|----|--------|--------------|---|-----|----|
|                                                                                              | Денна форма     |              |   |     |    |        |              |   |     |    |
|                                                                                              | Усього          | у тому числі |   |     |    | Усього | у тому числі |   |     |    |
|                                                                                              |                 | л            | п | лаб | ср |        | л            | п | лаб | ср |
| 1                                                                                            | 2               | 3            | 4 | 5   | 6  | 7      | 8            | 9 | 10  | 11 |
| Змістовий модуль 1. Вступ до моделювання. Поток подій.                                       |                 |              |   |     |    |        |              |   |     |    |
| Тема 1.                                                                                      | 3               | 1            |   |     | 2  |        |              |   |     |    |
| Тема 2.                                                                                      | 7               | 1            |   |     | 6  |        |              |   |     |    |
| Змістовий модуль 2. Однорідні системи масового обслуговування.                               |                 |              |   |     |    |        |              |   |     |    |
| Тема 3.                                                                                      | 12              | 2            |   | 6   | 8  |        |              |   |     |    |
| Тема 4.                                                                                      | 12              | 2            |   |     | 8  |        |              |   |     |    |
| Тема 5.                                                                                      | 12              | 2            |   |     | 8  |        |              |   |     |    |
| Змістовий модуль 3. Неоднорідні системи масового обслуговування.                             |                 |              |   |     |    |        |              |   |     |    |
| Тема 6.                                                                                      | 15              | 2            |   | 6   | 10 |        |              |   |     |    |
| Тема 7.                                                                                      | 13              | 2            |   |     | 8  |        |              |   |     |    |
| Змістовий модуль 4. Мережі масового обслуговування.                                          |                 |              |   |     |    |        |              |   |     |    |
| Тема 8.                                                                                      | 12              | 2            |   | 2   | 8  |        |              |   |     |    |
| Тема 9.                                                                                      | 12              | 2            |   | 4   | 8  |        |              |   |     |    |
| Тема 10.                                                                                     | 14              | 2            |   |     | 10 |        |              |   |     |    |
| Змістовий модуль 5. Імітаційне моделювання на підставі зважених орієнтованих графів (сіток). |                 |              |   |     |    |        |              |   |     |    |
| Тема 11.                                                                                     | 8               | 2            |   | 2   | 4  |        |              |   |     |    |
| Всього годин                                                                                 | 120             | 20           |   | 20  | 80 |        |              |   |     |    |

#### 5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені

## 6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені

## 7. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми                                             | Кількість годин |        |
|-------|--------------------------------------------------------|-----------------|--------|
|       |                                                        | Денна           | Заочна |
| 1     | Моделювання СМО М/М/1, М/М/Н та М/Г/1.                 | 6               |        |
| 2     | Моделювання неоднорідних М/Г/1.                        | 6               |        |
| 3     | Моделювання розімкнених мереж масового обслуговування. | 2               |        |
| 4     | Моделювання замкнених мереж масового обслуговування.   | 4               |        |
| 5     | Часове моделювання.                                    | 2               |        |
|       | <b>Разом</b>                                           | <b>20</b>       |        |

## 8. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми                                                        | Кількість годин |        |
|-------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|
|       |                                                                   | Денна           | Заочна |
| 1     | Розрахунок характеристик дискретних систем.                       | 8               |        |
| 2     | Побудова та розрахунок систем масового обслуговування.            | 24              |        |
| 3     | Побудова та розрахунок розімкнених мереж масового обслуговування. | 18              |        |
| 4     | Побудова та розрахунок замкнених мереж масового обслуговування.   | 26              |        |
| 5     | Часове моделювання.                                               | 4               |        |
|       | <b>Разом</b>                                                      | <b>80</b>       |        |

## 9. Методи навчання

Лекції з використанням мультимедійного презентаційного матеріалу, демонстрація роботи з програмними системами моделювання.

## 10. Методи контролю

Під час **1-го модульного контролю** студент повинен відповісти на 1 запитання з переліку, наведеному у п. 11.1.

**Другий модульний контроль** є виключно практичний, орієнтований на виявлення навичок розв'язання задач по розрахунку моделей систем на підставі мереж масового обслуговування для отримання характеристик моделей згідно переліку, наведеному у п. 11.2.

Під час **підсумкового контролю** студент повинен відповісти на 1 запитання екзаменатора з переліку, наведеному у п. 11.3, та розв'язати 1 задачу із створення та розрахунку системи масового обслуговування, приклади яких наведено у п. 11.4.

### **10.1. Критерії оцінювання на підсумковому контролі:**

1. Відповідь повинна бути повною і короткою. Вона не повинна мати в собі матеріал, що не відноситься до суті питання.
2. Чітко формулювати твердження, вправно застосовувати необхідні формули і знання основних питань програми.
3. Відповіді, що мають помилкові твердження оцінюються виходячи з близькості відповіді до правильної.
4. Пропуски в обґрунтуванні тверджень враховуються і це призводить до зменшення кількості балів.
5. Малі недоліки, неточності при викладенні матеріалу, зменшують кількість балів.
6. Незнання і нерозуміння основної ідеї теоретичного питання або задачі призводить до зняття до 90 % балів.
7. Якщо відповідь на питання відсутня то виставляється нуль балів.

## **11. Питання до контролю**

### **11.1. Питання до модульної контрольної роботи №1**

1. Опишіть властивості потоків подій: Пуассона, найпростіший потоку, потоку Ерланга.
2. Опишіть алгоритм розрахунку імовірностей станів систем з використанням марковських процесів з дискретним часом.
3. Опишіть алгоритм розрахунку імовірностей станів систем з використанням марковських процесів з безперервним часом.
4. Опишіть алгоритм розрахунку системи масового обслуговування М/М/1.
5. Опишіть алгоритм розрахунку системи масового обслуговування М/М/Н.
6. Опишіть алгоритм розрахунку систем масового обслуговування М/М/1//К та М/Г/1.

### **11.2. Питання до модульної контрольної роботи №2**

Всі варіанти містять однакові запитання, а саме:

#### **Розрахувати:**

- 1) вузлові характеристики моделі:
  - *інтенсивність потоку заявок, що входять в  $i$ -й вузол,  $\lambda_i$ .*
  - *завантаження  $\rho_i$  і коефіцієнт простою  $\eta_i$   $i$ -го вузла.*
  - *середню довжину черги до обслуговуючого приладу  $l_i$  та число вимог у цій системі  $m_i$ .*
  - *час очікування заявок в черзі  $w_i$  і час перебування заявок в  $i$ -ому вузлі  $u_i$ .*
- 2) мережеві характеристики моделі:
  - *сумарну довжину черг  $L$ .*

- сумарне *число заявок* у всій мережі  $M$ .
- сумарний *час очікування* в черзі  $W$ .
- повний *час перебування* заявок у мережі  $U$ .

### 11.3. Питання до підсумкового контролю

1. Класифікація моделей. Властивості характеристик моделей.
2. Елементи теорії масового обслуговування: системи та мережі масового обслуговування, їхні параметри та характеристики.
3. Потоки подій. Розподіл Пуассона. Найпростіший потік.
4. Потоки подій. Потік Ерланга. Коефіцієнт варіації.
5. Марковські процеси з дискретним часом. Імовірності станів систем.
6. Марковські процеси з безперервним часом. Рівняння Колмогорова-Чепмена.
7. Системи масового обслуговування. СМО  $M/M/1$ .
8. Системи масового обслуговування. СМО  $M/M/N$ .
9. Системи масового обслуговування. СМО  $M/M/1/K$ .
10. Системи масового обслуговування. СМО  $M/G/1$ .
11. Неоднорідні СМО. Системи масового обслуговування з *безпріоритетною* дисципліною обслуговування (ДО БП) і з ДО з *абсолютними пріоритетами* (ДО АП).
12. Неоднорідні СМО. Системи масового обслуговування з дисципліною обслуговування з *відносними пріоритетами* (ДО ОП).
13. Неоднорідні СМО. Системи масового обслуговування з дисципліною обслуговування зі *змішаними пріоритетами* (ДО ЗП).
14. Застосування моделі на підставі СМО  $M/G/1$ . Системи *без обмеження* на час обробки заявок.
15. Застосування моделі на підставі СМО  $M/G/1$ . Системи з *відносними й абсолютними* обмеженнями на час обробки заявок.
16. *Розімкнуті* мережі масового обслуговування (РММО). Їхні параметри й характеристики. Теорема Джексона для РММО. Методика розрахунку РММО.
17. *Замкнуті* мережі масового обслуговування (ЗММО). Їхні параметри й характеристики. Теорема Джексона для ЗММО. Методика розрахунку.
18. Замкнуті мережі масового обслуговування (ЗММО). Їхні параметри й характеристики. *Алгоритм Б'юзена* для розрахунку ЗММО. Переваги й недоліки моделей на підставі ЗММО.
19. Застосування моделей на підставі мереж масового обслуговування. *Перетворення* ЗММО в еквівалентну чи толерантну їй ЗММО й ЗММО в толерантну їй РММО ("розвал" мережі).
20. Перетворення мереж: *агрегатування*. Припущення при розрахунку аналітичних моделей.
21. Імітаційне моделювання на підставі зважених орієнтованих графів (*сіток*). Елементи мереж.
22. Імітаційне моделювання на підставі зважених орієнтованих графів (*сіток*). Хвильовий алгоритм моделювання мереж (*часове моделювання*).

### 11.4. Приклади задач до підсумкового контролю

1. У банк приходять клієнти з інтенсивністю  $\lambda$ . Спочатку вони у відділі №1 отримують пропуск за час  $b_1$ , а потім йдуть до клерка у відділ №2, що обслуговує їх з інтенсивністю  $\mu_2$ . Визначити вираження для оптимізації кількості людей в цих двох відділах, щоб вони не простоювали, а сумарний час очікування в чергах не перевищував  $W$ .
2. Фірма орендує  $N$  телефонних ліній. Вартість оренди однієї лінії  $C_1$  за годину. Частота використання лінії  $\lambda$  викликів у годину. Середня тривалість переговорів  $m$  хв.  $C_2$  — вартість хвилини чекання з'єднання, тобто моменту, коли одна з ліній виявиться незайнятою. Визначити діапазон значень  $C_2$ , при якому буде вигідно використовувати  $N$  ліній.
3. У їдальню університету приходять студенти з інтенсивністю  $\lambda$  і співробітники з інтенсивністю  $\lambda/5$ , які у випадку довжини черги більш 5 обслуговуються позачергово. Середній час обслуговування одного відвідувача  $1/\mu$ . Визначити залежність середньої довжини черги від кількості вікон видачі.
4. Розглянути систему, описану процесом розмноження і загибелі з параметрами

$$\lambda_k = (k+2)\lambda, k = 0, 1, 2, \dots;$$

$$\mu_k = k\mu, k = 1, 2, 3, \dots$$

Знайти стаціонарні імовірності  $P_k$ , які виражені через  $\lambda$ ,  $k$ , і  $\mu$ , і середнє число заявок у системі.

### 12. Розподіл балів, які отримують студенти

| Поточне тестування та самостійна робота |    |                      |    |    |                     |    |     |                      |    |     |                      |     | Сума  |     |
|-----------------------------------------|----|----------------------|----|----|---------------------|----|-----|----------------------|----|-----|----------------------|-----|-------|-----|
| Змістовий модуль №1                     |    | Змістовий модуль № 2 |    |    | Змістовий модуль №3 |    | МК1 | Змістовий модуль № 4 |    |     | Змістовий модуль № 5 | МК2 | іспит |     |
| T1                                      | T2 | T3                   | T4 | T5 | T6                  | T7 |     | T8                   | T9 | T10 | T11                  |     |       |     |
|                                         | 1  | 1                    | 4  | 4  | 4                   | 4  | 10  | 4                    | 4  | 6   | 6                    | 12  | 40    | 100 |

T1, T2 ... – теми змістових модулів,  
МК1, МК2 – модульні контрольні роботи.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Загальна сума балів | Оцінка ECTS                    | Національна шкала |         |
|---------------------|--------------------------------|-------------------|---------|
| 90 — 100            | A – «відмінно»                 | 5 «відмінно»      | «залік» |
| 85 — 89             | B – «дуже добре»               | 4 «добре»         |         |
| 75 — 84             | C – «добре»                    | 3 «задовільно»    |         |
| 70 — 74             | D – «задовільно»               | 2 «незадовільно»  |         |
| 60 — 69             | E – «допустимо»                |                   |         |
| 35 — 59             | F – «незадовільно з можливістю |                   | а       |

|        |                                                     |  |  |
|--------|-----------------------------------------------------|--|--|
|        | повторного складання»                               |  |  |
| 0 — 34 | FX – «незадовільно з обов’язковим повторним курсом» |  |  |

### 13. Навчально-методичне забезпечення

Конспект лекцій та методичні матеріали в електронному виді, нормативні документи, презентаційні матеріали: <https://pub.onu.edu.ua/fakultet-matematyky-fizyky-ta-informatsiinykh-tekhnologii/64-osvitnii-riven-mahistr/spetsialnist-123-kompiuterna-inzheneriia>

### 14. Рекомендована література

#### 14.1. Основна література

1. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник / А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міського господарства ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с
2. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування : практикум / Ю. В. Жерновий ; М-во освіти і науки України, Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 307 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://documents.pub/document/oe-oe-oe-oe-a-queueing.html>.
3. Уривський Л.О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях. Навчальний посібник / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, С.О. Осипчук // Ел. мережне навч. видання, Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 202 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/de7cd488-c9a3-433a-b6ce-a5dacff9e9dd/content>.
4. Соколовський Я.І. Моделювання систем в середовищі GPSS World: навч. посіб. / Я.І. Соколовський, Ю.В. Шабатура, Я.І. Виклюк [та ін.]; за ред. В.В. Пасічника. – Львів : «Новий Світ – 2000», 2020. – 288 с.
5. Дубовой В. М. Імітаційне моделювання в системі SCILAB/XCOS: навчальний посібник [Електронний ресурс] / В. М. Дубовой, М. С. Юхимчук ; М-во освіти і науки України, Вінницьк. нац. техн. ун-т, Каф. Комп’ютерних систем управління. – Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2018. – Режим доступу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovyj\\_imitacijne\\_modelyuvannya\\_v\\_systemi\\_Scilab-Xcos/](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovyj_imitacijne_modelyuvannya_v_systemi_Scilab-Xcos/).
6. Kleinrock Leonard. Queuing Systems. Volume 1: Theory. – John Wiley & Sons, 1975. – 448 p.
7. Kleinrock Leonard. Queuing Systems. Volume 2: Computer Applications. – John Wiley & Sons, 1976. – 640 p.
8. 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.
9. Жлуктенко В.І., Бегун А.В. Стохастичні моделі в економіці: Монографія. – К.: КНЕУ, 2005.
10. Byoung Kyu Choi Donghun Kang. Modeling and Simulation of Discrete- Event Systems. – John Wiley & Sons, Inc., 2013. – 405 p. – Access mode: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118732793>
11. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. – Open SUNY Textbooks, 2015 – 479 p. – Access mode: <https://textbooks.opensuny.org/download/introduction-to-the-modeling-and-analysis-of-complex-systems-sayama-pdf/>

#### 14.2. Допоміжна література

12. Thomas J. Schriber. Simulation Using GPSS. – John Wiley & Sons, 1974. – 534 p. – ISBN: 978-0-471-76310-9.
13. Grigoryev Ilya. AnyLogic 8 in Three Days: A Quick Course in Simulation Modeling. – 5th edition. – AnyLogic, Kindle Edition, 2018. – 246 p.

14. Малахов Е.В. Исследование и разработка информационно-вычислительной системы для управления процессами обслуживания подвижных объектов: Дисс. ... канд. техн. наук. / АН Украины. Ин-т проблем регистрации информации. – Киев, 1993.

### **15. Електронні інформаційні ресурси**

1. Minuteman Software. GPSS Worldtm line of simulation products. – Режим доступу: <http://www.minutemansoftware.com>