

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ЄРЕВАНСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директор Єреванського навчально-наукового інституту ЗУНУ

Саак ГУДРАТЯН

2024 р.



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з науково-педагогічної роботи

Віктор ОСТРОВЕРХОВ

2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА**  
**з дисципліни**  
**«МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»**

ступінь вищої освіти – **бакалавр**

галузь знань - 12 Інформаційні технології

спеціальність - 123 Комп'ютерна інженерія

освітньо-професійна програма - «Комп'ютерна інженерія»

Кафедра фундаментальних дисциплін

| Форма навчання | Курс | Семестр | Лекції (год.) | Лабор. (год.) | ІРС (год.) | СРС (год.) | Тренінг (год.) | Разом (год.) | Екза мен (сем.) |
|----------------|------|---------|---------------|---------------|------------|------------|----------------|--------------|-----------------|
| Заочна         | 4    | 8       | 8             | 4             | -          | 138        | -              | 150          | 8               |

Робоча програма складена на основі освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія» підготовки здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології, затвердженої Вченою радою ЗУНУ (протокол № 9 від 26.05.2021р.), зі змінами відповідно до рішення Вченої ради ЗУНУ (протокол № 11 від 26.06.2024р.).

Робочу програму розробив викладач кафедри фундаментальних дисциплін ЄННІ ЗУНУ Карен ХАЧАТРЯН.



Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фундаментальних дисциплін, протокол № 1 від 27.08.2024 року.

Завідувач кафедри  
фундаментальних дисциплін,  
доктор технічних наук, професор



Гамлет АРУТЮНЯН

Розглянуто та схвалено групою забезпечення спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», протокол № 1 від 30.08.2024 р.

Голова ГЗС,  
д.т.н., професор



Гамлет АРУТЮНЯН

Гарант  
д.т.н., професор



Гамлет АРУТЮНЯН

# СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

## 1. ОПИС ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

| <b>Дисципліна –<br/>«Моделювання<br/>систем»</b> | <b>Галузь знань,<br/>спеціальність,<br/>СВО</b>                   | <b>Характеристика навчальної<br/>дисципліни</b>                                                                              |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кількість кредитів –<br>5                        | Галузь знань – 12<br>«Інформаційні<br>технології»                 | Статус дисципліни –<br>обов’язкова дисципліна циклу<br>професійної підготовки<br>Мова навчання – українська та<br>вірменська |
|                                                  | Спеціальність - 123<br>Комп’ютерна<br>інженерія                   | Рік підготовки: 4<br>Семестр: 8                                                                                              |
| Кількість змістових<br>модулів – 2               | Освітньо-<br>професійна<br>програма<br>«Комп’ютерна<br>інженерія» | Лекції: 8 год.<br>Лабораторні заняття: 4 год.                                                                                |
| Загальна кількість<br>годин – 150                | Ступінь вищої<br>освіти – бакалавр                                | Самостійна робота: 138 год.                                                                                                  |
|                                                  |                                                                   | Вид підсумкового контролю -<br>екзамен                                                                                       |

## **2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»**

### **2.1. Мета вивчення дисципліни**

Мета дисципліни – формування теоретичних знань з основ моделювання систем, засвоєння студентами основних підходів і принципів побудови моделей та надбання навичок їхнього застосування для вирішення завдань моделювання, що виникають у сфері інформатизації.

### **2.2. Завдання вивчення дисципліни**

В результаті вивчення курсу студенти повинні:

- вміти будувати моделі систем масового обслуговування, системної динаміки і агентно-орієнтовані моделі;
- вміти планувати і проводити експерименти з моделями, приймати рішення за результатами моделювання;
- розуміти теоретичні та практичні основи методологій і технологій моделювання у процесі дослідження, проектування та експлуатації інформаційних систем, продуктів, сервісів інформаційних технологій, інших об'єктів професійної діяльності;
- аналізувати, класифікувати, порівнювати методи та результати моделювання в процесі розв'язування практичних завдань;
- застосовувати інструментальні засоби моделювання складних об'єктів і систем.

### **2.3. Найменування та опис компетентностей, формування котрих забезпечує вивчення дисципліни**

СК11. Здатність оформляти отримані робочі результати у вигляді презентацій, науково-технічних звітів.

СК12. Здатність ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу програмно-технічних засобів, комп'ютерних та кіберфізичних систем, мереж та їхніх компонентів шляхом використання аналітичних методів і методів моделювання.

СК15. Здатність аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованих задач, критично оцінювати отримані результати, обґрунтовувати та захищати прийняті рішення.

### **2.4. Передумови для вивчення дисципліни**

Зазначена дисципліна включена до циклу дисциплін професійної підготовки за переліком програми. У структурно-логічній схемі навчання зазначена дисципліна розміщена на IV-му курсі. Для засвоєння дисципліни студентам необхідні знання та навички, отримані при вивченні наступних дисциплін: " Комп'ютерні системи ", " Технології проектування комп'ютерних систем ", а також цілеспрямованої роботи на лекційних та лабораторних заняттях, самостійної роботи студентів.

## **2.5. Програмні результати навчання**

ПРН2. Мати навички проведення експериментів, збирання даних та моделювання в комп'ютерних системах.

ПРН6. Вміти застосовувати знання для ідентифікації, формулювання і розв'язування технічних задач спеціальності, використовуючи методи, що є найбільш придатними для досягнення поставлених цілей.

ПРН11. Вміти здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії.

ПРН15. Вміти виконувати експериментальні дослідження за професійною тематикою.

ПРН16. Вміти оцінювати отримані результати та аргументовано захищати прийняті рішення.

ПРН18. Використовувати інформаційні технології та для ефективного спілкування на професійному та соціальному рівнях.

## **3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»**

### ***Змістовий модуль 1 – Моделі систем***

#### **Тема 1. Загальні положення та визначення**

Поняття системи. Поняття моделі. Співвідношення між моделлю та системою. Класифікація моделей. Вимоги до моделей. Основні види моделювання. Декомпозиція систем і простір станів. Основні підходи до побудови моделей: дискретно-подієве моделювання; системна динаміка; агентне моделювання. Принципи побудови моделей. Технологія моделювання.

#### **Тема 2. Середовище моделювання Anylogic**

Основні можливості програми Anylogic. Принцип багатопідхідного моделювання. Інтерфейс програми Anylogic. Робота з панелями. Графічний редактор. Інтерактивні елементи управління. Стандартні бібліотеки програми. Візуалізація результатів моделювання. Анімація.

#### **Тема 3. Моделі систем масового обслуговування**

Характеристики систем масового обслуговування: вхідний потік вимог, організація черги, правила обслуговування вимог, вихідний потік вимог, режими роботи системи масового обслуговування. Типи моделей систем масового обслуговування. Формула Литтла. Одноканальні системи масового обслуговування. Багатоканальні системи масового обслуговування. Мережі систем масового обслуговування. Операційний аналіз мереж систем масового обслуговування. Аналіз вузьких місць у мережі.

#### **Тема 4. Мережі Петрі**

Прості мережі Петрі. Розмітка мережі Петрі. Формальне визначення мереж Петрі. Моделювання систем за допомогою мереж Петрі. Розширення простих мереж Петрі. Формалізоване зображення моделі за допомогою мережі Петрі. Розширення можливостей вузлів під час моделювання. Розширення можливостей дуг під час моделювання. Розширення можливостей переходів під час моделювання.

#### **Тема 5. Імовірнісне моделювання**

Метод статистичних випробувань (Монте-Карло). Генератори випадкових чисел. Типи генераторів. Моделювання випадкових подій та дискретних величин. Основні розподіли для дискретних і неперервних величин. Моделювання неперервних випадкових величин. Метод оберненої функції. Моделювання випадкових процесів. Статистична обробка результатів моделювання: оцінювання ймовірності, розподілу випадкової величини, математичного сподівання, дисперсії, кореляційного моменту. Визначення кількості реалізацій під час моделювання випадкових величин: оцінювання ймовірності та середнього значення. Порівняння прогонів моделі.

### ***Змістовий модуль 2 – Імітаційне моделювання***

#### **Тема 6. Імітаційне моделювання**

Доцільність використання імітаційного моделювання. Формулювання проблеми та змістовна постановка задачі. Розроблення концептуальної моделі. Вибір ступеня деталізації опису об'єкта моделювання. Опис змінних моделі. Формалізоване зображення концептуальної моделі. Вибір засобів реалізації імітаційної моделі. Розроблення структурної схеми імітаційної моделі та опису її функціонування. Програмна реалізація імітаційної моделі. Перевірка достовірності і правильності імітаційних моделей. Верифікація та валідація моделі. Програмне забезпечення імітаційного моделювання

#### **Тема 7. Планування та проведення експериментів з моделями**

Проблеми планування імітаційних експериментів. Оцінювання точності результатів моделювання. Факторний план. Дисперсійний аналіз ANOVA. Особливості планування експериментів. Повний факторний експеримент. Дворівневий факторний план. Факторний план  $2^k$ . Пошук екстремальних значень на поверхні відгуку. Прискорення процесу імітаційного моделювання.

#### **Тема 8. Системна динаміка**

Поняття системного мислення. Метод системної динаміки Дж. Форрестера. Базові елементи моделі. Система рівнянь. Діаграми потоків. Петлі зворотного зв'язку. Приклади побудови моделей.

#### **Тема 9. Агентне моделювання**

Агентний підхід до моделювання процесів та систем. Поняття агента та агентної моделі. Поняття генеративного та висхідного моделювання та їх відмінності від інших парадигм моделювання. Засоби агентного моделювання в

програмі Anylogic. Практичне застосування агентного моделювання.

### **Тема 10. Моделі систем штучного інтелекту**

Поняття штучного інтелекту. Класифікація моделей штучного інтелекту. Символьні моделі: визначення та особливості; логічні системи; продукційні моделі. Моделі, засновані на знаннях: кадрові моделі; байєсівські мережі; експертні системи. Нейромережі та зворотне поширення. Застосування моделей штучного інтелекту (обробка природної мови та голосові асистенти, комп'ютерний зір і розпізнавання образів; автономні та робототехнічні системи, медична діагностика та прогнозування).

## **4. СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»**

### **4.1. Заочна форма навчання**

|                                                            | Кількість годин |                             |     |         |                      |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----|---------|----------------------|
|                                                            | Лекції          | Лабора-<br>торні<br>заняття | ІРС | Тренінг | Самостійна<br>робота |
| <b>Змістовий модуль 1. Моделі систем</b>                   |                 |                             |     |         |                      |
| Тема 1. Загальні положення та визначення                   | 1               |                             |     |         | 12                   |
| Тема 2. Середовище моделювання Anylogic                    | 1               |                             |     |         | 16                   |
| Тема 3. Моделі систем масового обслуговування              | 1               | 1                           |     |         | 12                   |
| Тема 4. Мережі Петрі                                       | 1               | 1                           |     |         | 12                   |
| Тема 5. Імовірнісне моделювання                            |                 |                             |     |         | 16                   |
| <b>Змістовий модуль 2 – Імітаційне моделювання</b>         |                 |                             |     |         |                      |
| Тема 6. Імітаційне моделювання                             | 1               | 1                           |     |         | 12                   |
| Тема 7. Планування та проведення експериментів з моделями. |                 |                             |     |         | 18                   |
| Тема 8. Системна динаміка                                  | 1               |                             |     |         | 12                   |
| Тема 9. Агентне моделювання                                | 1               | 1                           |     |         | 18                   |
| Тема 10. Моделі систем штучного інтелекту                  | 1               |                             |     |         | 12                   |
| <b>Разом</b>                                               | <b>8</b>        | <b>4</b>                    |     |         | <b>138</b>           |

## **ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Лабораторна робота №1

Тема: Побудова і дослідження моделей в системі Anylogic

Мета: Отримати практичні навички роботи в програмному середовищі Anylogic.

Лабораторна робота №2

Тема: Моделювання систем масового обслуговування

Мета: Навчитися створювати моделі систем масового обслуговування.

Лабораторна робота №3

Тема: Імовірнісне моделювання

Мета: Навчитися досліджувати моделі систем за допомогою методу Монте-Карло.

Лабораторна робота №4

Тема: Моделі системної динаміки

Мета: Навчитися створювати моделі за допомогою методу системної динаміки.

Лабораторна робота №5

Тема: Планування імітаційного експерименту

Мета: Навчитися планувати комп'ютерні експерименти

Лабораторна робота №6

Тема: Агентне моделювання

Мета: Навчитися розробляти моделі систем на основі агентно-орієнтованого підходу.

## **6. САМОСТІЙНА РОБОТА**

Самостійна робота з дисципліни складається з індивідуального завдання, сформованого з двох частин:

опрацювання літератури за заданою темою і підготовка презентації виступу (20% загальної оцінки);  
виконання практичного завдання (80% загальної оцінки).

6.1. Перелік тем на самостійне опрацювання:

1. Вступ до системного моделювання: основні концепції та методології.
2. Класифікація моделей: детерміновані та стохастичні моделі.
3. Моделювання економічних систем: приклади та підходи.
4. Імітаційне моделювання: інструменти та програмне забезпечення.

5. Системна динаміка та її застосування в управлінні підприємством.
6. Моделювання в кіберфізичних системах: принципи та приклади.
7. Агентне моделювання: концепції та застосування в соціальних системах.
8. Системи масового обслуговування: моделювання та аналіз.
9. Моделювання транспортних систем: оптимізація та ефективність.
10. Дискретні моделі: основні підходи та їх застосування.
11. Моделювання біологічних систем: клітинні автомати та інші підходи.
12. Сценарне моделювання для стратегічного планування.
13. Системи підтримки прийняття рішень на основі моделей.
14. Верифікація та валідація моделей: методи та проблеми.
15. Моделювання складних систем: підходи до декомпозиції та агрегації.
16. Моделювання екологічних систем: основні методи та приклади.
17. Математичні методи в моделюванні економічних процесів.
18. Моделювання в галузі охорони здоров'я: прогнозування та планування ресурсів.
19. Стохастичні процеси в моделюванні систем.
20. Проблеми масштабованості в моделюванні великих систем.
21. Роль моделей у процесі прийняття рішень в управлінні ризиками.
22. Інтерфейси та інструменти для візуалізації моделей.
23. Моделювання виробничих процесів: підходи до оптимізації.
24. Методи імітаційного моделювання для аналізу черг і запасів.
25. Моделювання поведінки складних систем в умовах невизначеності.
26. Аналіз чутливості моделей: методи та застосування.
27. Прогнозування та моделювання систем у кризових ситуаціях.
28. Моделювання енергетичних систем: від генерації до споживання.
29. Аналіз мережевих структур за допомогою моделей.
30. Етичні аспекти та виклики моделювання в соціальних та економічних системах.

6.2. У межах практичного завдання необхідно здійснити побудову моделі комп'ютерної системи як системи масового обслуговування. Варіанти завдань:

1. Моделювання черги на сервері з одним обслуговуючим пристроєм (системи М/М/1) і аналіз часу очікування.
2. Розробка симуляційної моделі системи масового обслуговування з кількома каналами (системи М/М/с).
3. Побудова та аналіз системи з обмеженим обсягом черги (системи М/М/1/К) та дослідження відмов.
4. Симуляція системи з пріоритетним обслуговуванням заявок і дослідження впливу пріоритетів на час обробки.
5. Аналіз впливу інтенсивності вхідного потоку заявок на продуктивність системи масового обслуговування.

6. Моделювання та аналіз мультисерверної системи обслуговування з обмеженим числом обслуговуючих пристроїв (система М/М/с/К).
7. Створення моделі системи масового обслуговування з баєсовським оновленням параметрів і дослідження її поведінки.
8. Розробка симуляційної моделі системи масового обслуговування з розділенням заявок на класи.
9. Моделювання та аналіз системи обслуговування з двома чергами та однією точкою обслуговування (системи з циклічним обслуговуванням).
10. Симуляція та аналіз системи з пріоритетом на час обслуговування: вплив на затримки в системі.
11. Розробка та моделювання системи масового обслуговування з відкладеними заявками та обмеженнями на час очікування.
12. Побудова моделі системи масового обслуговування з резервними пристроями та аналіз відмов.
13. Симуляція впливу різних політик обслуговування на ефективність системи (наприклад, FIFO, LIFO, пріоритет).
14. Моделювання та аналіз системи обслуговування з варіативним часом обробки заявок та його вплив на продуктивність.
15. Побудова моделі системи масового обслуговування для хмарного середовища з балансуванням навантаження.
16. Аналіз продуктивності системи масового обслуговування з використанням методів симуляції Монте-Карло.
17. Симуляція та аналіз системи з розділенням черги на кілька підчерг з різними пріоритетами.
18. Моделювання впливу відмови одного з обслуговуючих пристроїв на продуктивність мультисерверної системи.
19. Розробка моделі системи масового обслуговування з двома типами заявок та різними правилами обслуговування.
20. Аналіз системи масового обслуговування з часом очікування, що залежить від кількості заявок у черзі.
21. Моделювання та аналіз системи масового обслуговування з фіксованим часом обслуговування заявок.
22. Симуляція системи обслуговування з рухомою чергою (наприклад, у транспортних системах).
23. Побудова та симуляція системи масового обслуговування з можливістю паралельного обслуговування заявок.
24. Моделювання системи масового обслуговування з варіативною інтенсивністю надходження заявок протягом дня.
25. Аналіз ефективності розподіленої системи масового обслуговування в умовах змінного навантаження.
26. Симуляція та аналіз мультисерверної системи масового обслуговування з випадковим вибором сервера.
27. Моделювання системи масового обслуговування з паузами в обслуговуванні через технічні перерви.

28. Побудова моделі системи обслуговування з динамічним призначенням ресурсів на обробку заявок.

29. Аналіз продуктивності та затримок у системі масового обслуговування з обмеженням часу обслуговування (наприклад, тайм-аут).

30. Моделювання та симуляція системи масового обслуговування з розподілом заявок на групи для обробки паралельно.

## **7. ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ДЕМОНСТРУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ**

У навчальному процесі застосовуються: лекції, в тому числі з використанням мультимедіапроектора та інших ТЗН; практичні заняття; самостійна робота студента, робота в Інтернет.

У процесі вивчення дисципліни «Моделювання систем» використовуються наступні засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання:

- поточні опитування;
- презентації результатів виконання завдань та досліджень;
- завдання на лабораторному обладнанні;
- екзамен.

## **8. КРИТЕРІЇ, ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ**

В процесі вивчення дисципліни «Моделювання систем» використовуються наступні методи оцінювання навчальної роботи студента:

- поточне тестування та опитування;
- поточне опитування;
- підсумковий письмовий екзамен.

Оцінювання здійснюється за 100 бальною шкалою.

Критерії оцінювання знань:

90–100 балів – у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно самостійно та аргументовано його викладає під час відповідей, глибоко та всебічно розкриває зміст питань;

75–89 балів – достатньо повно володіє навчальним матеріалом, але при викладанні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки;

65–74 бали – в цілому володіє навчальним матеріалом та викладає його основний зміст, але без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, допускаючи при цьому окремі суттєві неточності та помилки;

60–64 бали – не в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, фрагментарно (без

аргументації та обґрунтування) його викладає, недостатньо розкриває зміст теоретичних питань, допускаючи при цьому суттєві неточності;

1–59 балів – не володіє навчальним матеріалом, не розкриває зміст теоретичних питань.

Шкала оцінювання:

| За шкалою ЗУНУ | За національною шкалою | За шкалою ECTS                                      |
|----------------|------------------------|-----------------------------------------------------|
| 90-100         | відмінно               | A (відмінно)                                        |
| 85-89          | добре                  | B (дуже добре)                                      |
| 75-84          |                        | C (добре)                                           |
| 65-74          | задовільно             | D (задовільно)                                      |
| 60-64          |                        | E (достатньо)                                       |
| 35-59          | незадовільно           | FX (незадовільно з можливістю повторного складання) |
| 1-34           |                        | F (незадовільно з обов'язковим повторним курсом)    |

## 9. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

| №  | Найменування                                              | Номер теми |
|----|-----------------------------------------------------------|------------|
| 1. | Персональний комп'ютер з базовим програмним забезпеченням | 1-10       |
| 2. | Пакет програм Anylogic PLE                                | 2-10       |
| 3. | Мультимедійний проєктор і екран                           | 1-10       |
| 4. | Moodle, Zoom                                              | 1-10       |

## РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

### Основні джерела

- Виклюк Я. І., Камінський Р. М., Пасічник В. В. Моделювання складних систем: По-сібник. Львів: Новий Світ-2000, 2020. 404 с.
- Уривський Л. О., Мошинська А. В., Осипчук С. О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях: Навч. посібник. Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2022. 202 с.
- Ніколюк П. К. Моделювання систем: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Вінниця: ДонНУ, 2023. 228 с.
- Томашевський В.М. Моделювання систем. — Режим доступу: [https://dut.edu.ua/uploads/1\\_1130\\_37566297.pdf](https://dut.edu.ua/uploads/1_1130_37566297.pdf)
- Бутко М. П., Бутко І. М., Дітковська М. Ю., Мурашко М. І., Олійченко І. М., Оліфі-ренко Л. Д. Системний підхід і моделювання в наукових

дослідженнях. Київ: Центр уч-бової літератури, 2024. 360 с.

6. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів в керуванні, кібер-безпеці, телекомунікаціях: підручник / В. І. Корнієнко, О. Ю. Гусєв, О. В. Герасіна. Дніп-ро, НТУ «ДП», 2020. 531 с.

7. Grigoryev I. AnyLogic in three days. — Режим доступу: <https://www.anylogic.com/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/>

8. Muller G. System Modeling and Analysis: a Practical Approach. — Режим доступу: <https://www.gaudisite.nl/SystemModelingAndAnalysisBook.pdf>

#### Додаткові джерела

9. Касьяненко В. О., Старченко Л. В. Моделювання та прогнозування економічних процесів. Київ: Університетська книга, 2023. 185 с.

10. Моделювання систем. Практикум / уклад.: К. Х. Зеленський, К. С. Бовсуновська. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 82 с.

11. DeLaurentis D. A., Moolchandani K., Guariniello C. System of Systems Modeling and Analysis. Routledge, 2023. 287 p.

12. Mahdavi A. The Art of Process-Centric Modeling with AnyLogic — Режим доступу: <https://www.anylogic.ru/resources/books/the-art-of-process-centric-modeling-with-anylogic/>

13. The AnyLogic Company. AnyLogic Help [Online]. — Режим доступу: <http://www.anylogic.com/anylogic/help/>

14. Український портал з імітаційного моделювання — Режим доступу: <http://www.simulation.org.ua>

15. Науковий журнал «Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація» — Режим доступу: <http://kmauo.org/>

16. Журнал "Mathematical Modeling and Computing" — Режим доступу: <http://science.lpnu.ua/uk/mmc>