

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету комп'ютерних
інформаційних технологій
Ігор ЯКИМЕНКО



_____ 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчально-
педагогічної роботи
Віктор ОСТРОВЕРХОВ



_____ 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни «**Моделювання систем**»»

ступінь вищої освіти – **бакалавр**

галузь знань – **12 «Інформаційні технології»**

спеціальність – **122 «Комп'ютерні науки»**

освітньо-професійна програма – «**Штучний інтелект**»

Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління

Форма навчання	Курс	Семестр	Лекції (год.)	Лабор. заняття (год.)	ІРС (год.)	Тренінг, (год.)	СРС (год.)	Разом (год.)	Екз. (сем.)
Денна	3	5	30	30	4	8	78	150	5

30.08.2024
[Signature]

Тернопіль – ЗУНУ
2024

Робоча програма складена на основі освітньо-професійної програми «Штучний інтелект» підготовки бакалаврів галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», затвердженої Вченою радою ЗУНУ (протокол №9 від 15 червня 2022 р.).

Робочу програму склав доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, канд. екон. наук, доцент Григорій ГЛАДІЙ

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, протокол № 1 від 27 серпня 2024 р.

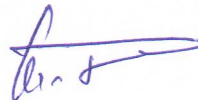
В.о. завідувача кафедри
канд. техн. наук, доцент



Надія ВАСИЛЬКІВ

Розглянуто та схвалено групою забезпечення спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» (протокол № 1 від 30 серпня 2024 р.)

Голова групи
забезпечення спеціальності,
д-р техн. наук, професор



Мирослав КОМАР

Гарант освітньо-професійної
програми «Штучний інтелект»
канд. техн. наук, доцент



Василь КОВАЛЬ

СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

1. ОПИС ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

Дисципліна – «Моделювання систем»	Галузь знань, спеціальність, СВО	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 5	Галузь знань – 12 «Інформаційні технології»	Статус дисципліни – обов'язкова дисципліна циклу професійної підготовки Мова навчання – українська
Кількість залікових модулів – 5	Спеціальність – 122 «Комп'ютерні науки»	Рік підготовки: 3 Семестр: Денна – 5
Кількість змістових модулів – 2	Ступінь вищої освіти – бакалавр	Лекції: Денна – 30 год. Лабораторні заняття: Денна – 30 год.
Загальна кількість годин – 150		Самостійна робота: Денна – 78 год. Тренінг: Денна – 8 год. Індивідуальна робота: Денна – 4 год.
Тижневих годин: 10, з них аудиторних – 4 год.		Вид підсумкового контролю – 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

– 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

СК4. Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач.

СК5. Здатність здійснювати формалізований опис задач дослідження операцій в організаційно-технічних і соціально-економічних системах різного призначення, визначати їх оптимальні розв'язки, будувати моделі оптимального управління з урахуванням змін економічної ситуації, оптимізувати процеси управління в системах різного призначення та рівня ієрархії.

СК7. Здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів.

СК15. Здатність до аналізу та функціонального моделювання бізнес-процесів, побудови та практичного застосування функціональних моделей організаційно-економічних і виробничо-технічних систем, методів оцінювання ризиків їх проектування.

2.4. Передумови для вивчення дисципліни

Вивчення даного курсу базується на матеріалах дисциплін «Чисельні методи та програмування», «Теорія ймовірності та математична статистика», «Системний аналіз».

2.5. Програмні результати навчання

ПР2. Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації.

ПР3. Використовувати знання закономірностей випадкових явищ, їх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних

програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки даних і побудови прогнозних моделей.

ПР7. Розуміти принципи моделювання організаційно-технічних систем і операцій; використовувати методи дослідження операцій, розв'язання одно- та багатокритеріальних оптимізаційних задач лінійного, цілочисельного, нелінійного, стохастичного програмування.

ПР14. Застосовувати знання методології та CASE-засобів проектування складних систем, методів структурного аналізу систем, об'єктно-орієнтованої методології проектування при розробці та дослідженні функціональних моделей організаційно-економічних і виробничо-технічних систем.

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 змістова 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»

Денна форма навчання

	Кількість годин					Контрольні заходи
	Лек-ції	Лабора-торні заняття	Індиві-дуальна робота	Тренінг	Самос-тійна робота	
Змістовий модуль 1 – Моделі систем						
Тема 1. Загальні положення та визначення	2		2	4	8	Опитування під час заняття
Тема 2. Середовище моделювання Anylogic	2	4			8	
Тема 3. Моделі систем масового обслуговування	4	4			8	
Тема 4. Мережі Петрі	2				8	
Тема 5. Імовірнісне моделювання	4	4			8	
Змістовий модуль 2 – Імітаційне моделювання						
Тема 6. Імітаційне моделювання	2	4	2	4	8	Опитування під час заняття
Тема 7. Планування та проведення експериментів з моделями.	2	4			8	
Тема 8. Системна динаміка	4	4			8	
Тема 9. Агентне моделювання	4	4			7	
Тема 10. Моделі систем штучного інтелекту	2	2			7	
Разом	30	30	4	8	78	

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 баасовським 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. ТРЕНІНГ З ДИСЦИПЛІНИ

Тема тренінгу: Моделювання роботи комп'ютерних серверів.

Тренінг передбачає виконання індивідуального практичного завдання, яке оцінюється за 100-бальною шкалою.

Приклад індивідуального практичного завдання для тренінгу:

В комп'ютерній мережі є два сервери, що працюють паралельно. До серверів надходить потік запитів, час між якими має експоненціальний розподіл із середнім значенням 10 мс. Потік запитів маршрутизатором розділяється на дві частини, співвідношення між якими становить $1 \pm 0,1$. Кожний сервер має однакову чергу з обмеженням за довжиною до 15 запитів. Якщо черга зайнята, то запит отримує відмову в обслуговуванні. Сервери однакові за обчислювальною потужністю. Час обслуговування на кожному з них має експоненціальний розподіл із середнім значенням 12 мс. Побудувати імітаційну модель роботи серверів мережі протягом 30 хвилин. Необхідно оцінити середній час очікування обслуговування у кожній черзі, середні довжини черг, максимальні довжини черг, коефіцієнти використання серверів, кількість запитів, які не очікували обслуговування у кожній черзі окремо, середній час обслуговування запитів на кожному сервері, кількість запитів, що отримали відмову в обслуговуванні. Побудувати гістограми розподілу довжин черг залежно від часу очікування обслуговування в них.

Порядок проведення тренінгу:

1. Вступна частина: ознайомлення студентів з темою тренінгового заняття і видача завдання.
2. Практична частина: виконання завдань студентами згідно з індивідуальним завданням; оформлення короткого звіту.
3. Підведення підсумків: обговорення результатів виконаних завдань.

8. ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ДЕМОНСТРУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

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

- поточне тестування та опитування;
- оцінювання результатів лабораторних завдань;

- модульний контроль;
- оцінювання виконання завдань тренінгу;
- екзамен.

9. КРИТЕРІЇ, ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з дисципліни «Моделювання систем» визначається як середньозважена величина залежно від питомої ваги кожної складової залікового кредиту:

Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5
10%	10%	10%	10%	5%	15%	40%
Поточне оцінювання	Модуль-ний контроль 1	Поточне оцінювання	Модуль-ний контроль 2	Тренінг	Самостійна робота	Екзамен
Оцінка визначається як середнє арифметичне з оцінок, отриманих за виконання і захист лабораторних робіт (3 роботи)	10 тестових завдань (по 10 балів кожне)	Оцінка визначається як середнє арифметичне з оцінок, отриманих за виконання і захист лабораторних робіт (3 роботи)	10 тестових завдань (по 10 балів кожне)	Оцінювання тренінгового завдання	1. Підготовка презентації за заданою тематикою 2. Виконання практичного завдання	20 тестових завдань по 5 балів кожне.

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)

**10. 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

1. Виклюк Я. І., Камінський Р. М., Пасічник В. В. Моделювання складних систем: Посібник. Львів: Новий Світ – 2000, 2020. 404 с.
2. 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.
3. Обод І. І., Заволодько Г. Е., Свид І. В. Математичне моделювання систем: навч. посіб. для студентів спеціальностей «Комп'ютерна інженерія», «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». Харків: МАДРИД, 2019. 268 с.
4. Томашевський В. М. Моделювання систем. – Режим доступу: https://dut.edu.ua/uploads/1_1130_37566297.pdf
5. Антонюк А. О. Моделювання систем: навч. посіб. Ірпінь: Університет ДФС України, 2019. 412 с.
6. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів в керуванні, кібербезпеці, телекомунікаціях: підручник / В. І. Корнієнко, О. Ю. Гусєв, О. В. Герасіна. Дніпро, 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. Railsback S.F. Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction. 2nd edition. Princeton University Press, 2019. 360 p.
9. DeLaurentis D. A., Moolchandani K., Guariniello C. System of Systems Modeling and Analysis. Routledge, 2023. 287 p.
10. Muller G. System Modeling and Analysis: a Practical Approach. – Режим доступу: <https://www.gaudisite.nl/SystemModelingAndAnalysisBook.pdf>
11. 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/>
12. The AnyLogic Company. AnyLogic Help [Online]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.com/anylogic/help/>
13. Український портал з імітаційного моделювання – Режим доступу: <http://www.simulation.org.ua>
14. Науковий журнал «Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація» – Режим доступу: <http://kmauo.org/>
15. Журнал "Mathematical Modeling and Computing" – Режим доступу: <http://science.lpnu.ua/uk/mmc>