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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій
Ігор ЯКИМЕНКО
_____
29 _____ 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з науково-педагогічної роботи
Віктор ОСТРОВЕРХОВ
_____
29 _____ 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор навчально-наукового інституту новітніх освітніх технологій
Святослав ПИТЕЛЬ
_____
"29" _____2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни **«Моделювання систем»**
ступінь вищої освіти – **бакалавр**
галузь знань – **12 «Інформаційні технології»**
спеціальність – **122 «Комп'ютерні науки»**
освітньо-професійна програма – **«Комп'ютерні науки»**

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
Заочна	3	7,8	8	4	-	-	138	150	8

29.08.2025

Тернопіль – ЗУНУ
2025

Робоча програма складена на основі освітньо-професійної програми «Комп'ютерні науки» підготовки бакалаврів галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», затвердженої Вченою радою ЗУНУ (протокол № 10 від 23 червня 2023 р., зі змінами протокол №11 від 26 червня 2024 р.).

Робочу програму склала доцент кафедри ІОСУ, д.т.н. Христина ЛІП'ЯНІНА-ГОНЧАРЕНКО

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, протокол № 1 від 26 серпня 2025 р.

В.о. завідувача кафедри
к.т.н. Надія ВАСИЛЬКІВ

Гарант освітньо-професійної
програми «Штучний інтелект»
д. т. н, професор Мирослав КОМАР

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 Заочна – 7,8
Кількість змістових модулів – 2	Ступінь вищої освіти – бакалавр	Лекції: Денна – 30 год. Заочна – 8 год. Лабораторні заняття: Денна – 30 год. Заочна – 4 год.
Загальна кількість годин – 150	Освітньо-професійна програма: Комп'ютерні науки	Самостійна робота: Денна – 78 год. Заочна – 138 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, проєктування 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

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

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 проєктування.

2.4. Передумови для вивчення дисципліни

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

2.5. Програмні результати навчання

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.

ПР8. Використовувати методологію системного аналізу об'єктів, процесів і систем для задач аналізу, прогнозування, управління та проектування динамічних процесів в макроекономічних, технічних, технологічних і фінансових об'єктах.

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. Програмні середовища моделювання

Основні можливості найпопулярніших інструментів для дискретно-подійного, системно-динамічного та агентного моделювання. Принцип багатопідхідного підходу. Огляд інтерфейсу, панелей і графічних редакторів, інтерактивні елементи керування, стандартні бібліотеки компонентів, налаштування параметрів і експериментів, візуалізація та анімація результатів. Розглядаються платформи AnyLogic, Simio, FlexSim, Arena, Siemens Plant Simulation (DES/3D/логістика), Vensim і Stella (SD), NetLogo та GAMA Platform (ABM), а також Python-екосистема SimPy і Mesa для відкритої, кодоцентричної реалізації моделей.

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.

4. СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

Денна форма навчання

	Кількість годин					
	Лек-ції	Лабора-торні заняття	Індиві-дуальна робота	Тренінг	Самос-тійна робота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1 – Моделі систем						
Тема 1. Загальні положення та визначення	2		2	4	8	Опитування під час заняття
Тема 2. Програмні середовища моделювання	2	4			8	
Тема 3. Моделі систем масового обслуговування	4	4			8	
Тема 4. Мережі Петрі	2	2			8	
Тема 5. Імовірнісне моделювання	4	4			8	
Змістовий модуль 2 – Імітаційне моделювання						
Тема 6. Імітаційне моделювання	4	4	2	4	8	Опитування під час заняття
Тема 7. Планування та проведення експериментів з моделями.	4	4			8	
Тема 8. Системна динаміка	4	4			8	
Тема 9. Агентне моделювання	4	4			14	
Разом	**30**	**30**	**4**	**8**	**78**	

Заочна форма навчання

Тема	***Кількість годин***			
	Лекції	Лабораторні заняття	Тренінг	Самостійна робота
Змістовий модуль 1 – Моделі систем				
Тема 1. Загальні положення та визначення	4	2	-	14
Тема 2. Програмні середовища моделювання				10
Тема 3. Моделі систем масового обслуговування				10
Тема 4. Мережі Петрі				10
Тема 5. Імовірнісне моделювання				14
Змістовий модуль 2 – Імітаційне моделювання				
Тема 6. Імітаційне моделювання	4	2	-	10
Тема 7. Планування та проведення експериментів з моделями.				10
Тема 8. Системна динаміка				10
Тема 9. Агентне моделювання				20
Разом	8	4	-	138

ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота №1

Тема: Побудова й дослідження імітаційних моделей у Python (Jupyter + SimPy)

Мета: Опанувати базову структуру дискретно-подійних моделей (процеси, події, ресурси) та роботу в середовищі Jupyter.

Лабораторна робота №2

Тема: Системи масового обслуговування M/M/1 та M/M/c у SimPy

Мета: Навчитися створювати одноканальні й багатоканальні СМО, оцінювати λ, μ, ρ та емпірично перевіряти формулу Літтла.

Лабораторна робота №3

Тема: Мережі черг у Python за допомогою Ciw

Мета: Змоделювати відкриту мережу СМО з маршрутизацією й пріоритетами та виконати аналіз «вузьких місць».

Лабораторна робота №4

Тема: Мережі Петрі в Python (SNAKES / pm4py)

Мета: Побудувати й промоделювати просту мережу Петрі (місця, переходи, розмітка) та перевірити властивості моделі (досяжність/блокування).

Лабораторна робота №5

Тема: Імовірнісне моделювання (Монте-Карло) в NumPy/SciPy

Мета: Генерувати випадкові величини з базових розподілів, реалізувати метод оберненої функції, оцінити ймовірності, математичне сподівання, дисперсію та довірчі інтервали.

Лабораторна робота №6

Тема: Моделі системної динаміки в PySD

Мета: Створити модель «запаси-потоки» з петлями зворотного зв’язку та виконати сценарний і чутливісний аналіз.

Лабораторна робота №7

Тема: Планування та проведення експериментів із моделями (pyDOE2/doepy + statsmodels)

Мета: Побудувати повний факторний план 2^k, виконати ANOVA для оцінки ефектів і взаємодій та організувати прискорені обчислювальні експерименти.

Лабораторна робота №8

Тема: Агентне моделювання в Mesa (Python)

Мета: Розробити базову агентну модель (напр., Schelling або Wolf-Sheep), зібрати метрики, дослідити емерджентну поведінку та візуалізувати результати.

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 M/M/1) і аналіз часу очікування.
2. Розробка симуляційної моделі системи масового обслуговування з кількома каналами (системи M/M/c).
3. Побудова та аналіз системи з обмеженим обсягом черги (системи M/M/1/K) 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 M/M/c/K).
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. ТРЕНІНГ З ДИСЦИПЛІНИ

Тема тренінгу: «Розумна їдальня кампусу: від черг до політик обслуговування»

Мета тренінгу — пройти три ключові парадигми моделювання (DES, SD, ABM) у Python і завершити все коротким плануванням експериментів та звітом.

Занят-тя	**Тема (інструменти)**	**Що робимо**	**Результат**
1	Дискретно-подійна модель черги M/M/c (SimPy)	Будуємо процес «замовлення → оплата → видача»; рахуємо λ,μ,ρ; емпірично перевіряємо формулу Літтла; будуємо графіки W, L, ρ та гістограми часу в системі.	notebook_1.ipynb з кодом, таблицями/графіками й короткими висновками (5–8 речень).
2	Агентна поведінка (Mesa)	Додаємо агентів-клієнтів (вибір найкоротшої черги, нетерплячість/reneging, попередні замовлення); порівнюємо політики FCFS vs пріоритет попередніх замовлень; збираємо метрики (heatmap, розподіли часу очікування).	notebook_2.ipynb + коротка записка (до ½ стор.).
3	Системна динаміка (PySD або BPTK-Py)	Будуємо «запаси-потоки» для інгредієнтів (замовлення → поставка → споживання → дефіцит); досліджуємо затримки постачання (bullwhip-ефект); сценарний аналіз для різних часів поставки та мінрівня запасу.	notebook_3.ipynb з діаграмами рівнів/потоків і сценаріями.

4	Планування експериментів (pyDOE2/doepy + statsmodels)	Формуємо план $2^k\left(k = 3\colon c,\ p_{pre}, \frac{1}{\mu}\right)$; запускаємо серії симуляцій; збираємо Wq, Lq, throughput, % втрат; проводимо ANOVA, робимо висновок щодо найвпливовіших факторів.	notebook_4.ipynb + підсумковий звіт, з таблицями/графіками й рекомендаціями.

Кожен студент виконує однакові кроки, але з індивідуальними параметрами, згенерованими за власним номером (напр., S — останні 2 цифри: seed=100+S, λ, μ, кількість каналів c, частка попередніх замовлень p_pre, час поставки тощо), що забезпечує варіантність результатів і відтворюваність. Результати оформлюються у вигляді чотирьох ноутбуків (notebook_1.4.ipynb) з кодом, графіками й короткими висновками та підсумкового 1-сторінкового звіту з рекомендаціями щодо політик обслуговування та управління запасами.

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;
- оцінювання виконання завдань для самостійної роботи;
- 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	10 тестових завдань (по 10 балів кожне)	Оцінка визначається як середнє арифметичне з оцінок, отриманих за виконання і захист	10 тестових завдань (по 10 балів кожне)	Оцінювання тренінгового завдання	1. Підготовка презентації за заданою тематикою 2. Виконання практично-го завдання	20 тестових завдань по 5 балів кожне.

лабораторних робіт (4 роботи)		лабораторних робіт (4 роботи)				

Поточне оцінювання

Форми: виконання та захист лабораторних робіт (у кожному модулі — по 4 роботи, з тематикою згідно програми: SimPy/Ciw для СМО, мережі Петрі, Монте-Карло/NumPy-SciPy, PySD, Mesa, DoE/ANOVA тощо); опитування на заняттях; короткі міні-тести.

Оцінка за модуль: середнє арифметичне індивідуальних оцінок (невідпрацьовані роботи — 0 балів і враховуються у середньому).

Шкала ECTS / критерії для кожної лабораторної роботи (та підсумково за модуль):

A (90–100). Коректна концептуальна модель (події/черги/агенти/потоки), відтворюваний код (seed, версії), верифікація/валідація (face validity, перевірка формули Літтла/інваріантів мереж Петрі), план експериментів/чутливісний аналіз, коректні метрики (W, L, ρ, довірчі інтервали, ANOVA), якісний звіт (діаграми, таблиці, висновки).

B (85–89). Усі основні вимоги виконані; дрібні прогалини в тюнінгу/аналізі або оформленні; результати коректні.

C (75–84). Рішення працездатне, але з обмеженнями: спрощений препроцесинг/експерименти, слабший аналіз похибок/чутливості.

D (65–74). Часткове виконання: пропуски у структурі моделі або метриках, фрагментарні висновки.

E (60–64). Лише базовий мінімум за допомоги викладача; обмежена працездатність; звіт із суттєвими недоліками.

FX (35–59). Більшість завдань не виконано; код відсутній/непрацездатний; відсутнє розуміння підходів.

Модульний контроль 1

Форма: 10 тестових завдань у Moodle за темами змістового модуля 1.

Оцінювання: або як 10×10 балів, або загальною формулою:

$$K=100/N,\ Z=K\times P\ \ (N=10),$$

де P — кількість правильних відповідей. Бал 0–100 перераховується у 10 % підсумкового бала.

Модульний контроль 2

Форма: 10 тестових завдань у Moodle за темами змістового модуля 2.

Оцінювання: аналогічно МК-1: 10×10 або K=100/N, Z=K×P з N=10. Результат переводиться у 10 % підсумкового бала.

Тренінг

Форма: мікропроєкт «Розумна їдальня кампусу» із коротким підсумковим звітом/презентацією. Оцінка — середнє за виконані етапи тренінгу (постановка, модель, експерименти, висновки).

Шкала ECTS / критерії:

A (90–100). Працездатні моделі у трьох парадигмах; коректні експерименти/метрики (Wq, Lq, throughput, % втрат); чіткі рекомендації; переконлива демонстрація.

B (85–89). Повний функціонал з незначними прогалинами у деталях/оформленні.

C (75–84). Обмежений функціонал або спрощений аналіз/презентація.

D (65–74). Часткова реалізація з істотними прогалинами.

E (60–64). Лише базовий мінімум; слабка інтеграція результатів.

FX (35–59). Ключові етапи відсутні; демонстрація неможлива/непереконлива.

Самостійна робота (індивідуальне завдання)

Структура оцінювання: презентація — 20 %, практичне завдання — 80 % (модель СМО відповідно до варіанта).

Критерії (з урахуванням індивідуального внеску):

A (90–100). Завершена модель з параметризацією, серіями прогонів, довірчими інтервалами, аналізом вузьких місць/політик; зв'язна презентація (вступ–модель–експерименти–висновки).

B (85–89). Проєкт повний; дрібні прогалини (напр., обмежений помилкоаналіз).

C (75–84). Основні етапи виконані; аналіз/оптимізація поверхові.

D (65–74). Часткове виконання або слабка аргументація; фрагментарний звіт.

E (60–64). Мінімальний рівень відповідності; формальні висновки.

FX (35–59). Результати/звіт не відповідають вимогам.

Екзамен

Форма: тест у Moodle — 20 завдань × 5 балів (охоплює всі теми курсу).

Оцінювання: або «20×5», або загальною формулою:

$$K=100/N,\ Z=K\times P\ \ (N=20),$$

із подальшим перерахунком у 40 % підсумкового бала.

Орієнтири ECTS:

A (90–100). Системні, глибокі знання понять/методів/метрик; безпомилкове застосування.

B (85–89). Добре володіння матеріалом; поодинокі несуттєві неточності.

C (75–84). Достатній рівень; коректні базові судження.

D (65–74). Базове відтворення; частково правильні відповіді.

E (60–64). Мінімально достатній рівень.

FX (35–59). Істотні прогалини у знаннях.

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.	Phyton	2-10
3.	Мультимедійний проєктор і екран	1-10
4.	Moodle, Zoom	1-10

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основні джерела

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. Ніколюк П. К. Моделювання систем: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Вінниця: ДонНУ, 2023. 228 с.
4. Томашевський В. М. Моделювання систем. – Режим доступу: https://dut.edu.ua/uploads/l_1130_37566297.pdf
5. Бутко М. П., Бутко І. М., Дітковська М. Ю., Мурашко М. І., Олійченко І. М., Оліфіренко Л. Д. Системний підхід і моделювання в наукових дослідженнях. Київ: Центр учбової літератури, 2025. 360 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. Muller G. System Modeling and Analysis: a Practical Approach. – Режим доступу: https://www.gaudisite.nl/SystemModelingAndAnalysisBook.pdf

9. Електронний курс з дисципліни «Моделювання систем» для студентів галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» на платформі Moodle ЗУНУ / Ліп'яніна-Гончаренко Х.В. Тернопіль, 2025.

10. Law, A. M. *Simulation Modeling and Analysis* (6th ed., 2024), McGraw-Hill: https://www.mheducation.com/highered/mhp/product/simulation-modeling-analysis-sixth-edition.html mheducation.com

11. Law, A. M. *Simulation Modeling and Analysis* (5th ed. PDF, довідково): https://industri.fatek.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/108-Simulation-Modeling-and-Analysis-Averill-M.-Law-Edisi-5-2014.pdf industri.fatek.unpatti.ac.id

12. Shortle, J. F. та ін. *Fundamentals of Queueing Theory* (5th ed.), Wiley: https://www.wiley.com/en-us/Fundamentals%2Bof%2BQueueing%2BTheory%2C%2B5th%2BEdition-p-9781118943526 wiley.com

13. Kleinrock, L. *Queueing Systems, Volume I: Theory*, Wiley: https://www.wiley.com/en-us/Queueing%2BSystems%2C%2BVolume%2BI-p-9780471491101 wiley.com

14. Little, J. D. C. "A Proof for the Queuing Formula: L = λW" (*Operations Research*, 1961): https://www.isye.gatech.edu/~spyros/courses/IE7201/Fall-13/Little-OR-paper.pdf isye.gatech.edu

15. Sterman, J. D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*: https://web.mit.edu/jsterman/www/BusDyn2.html Massachusetts Institute of Technology

16. Montgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments* (10th ed.), Wiley: https://www.wiley.com/en-us/Design%2Band%2BAnalysis%2Bof%2BExperiments%2C%2B10th%2BEdition-p-9781119492443 wiley.com

17. van der Aalst, W. *Process Mining: Data Science in Action* (2nd ed.), Springer: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-49851-4 SpringerLink

18. Kroese, D. P., Taimre, T., Botev, Z. *Handbook of Monte Carlo Methods*, Wiley: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118014967 Wiley Online Library

19. SimPy (дискретно-подійне моделювання): https://simpy.readthedocs.io/ SimPy

20. Приклади SimPy: https://simpy.readthedocs.io/en/latest/examples/index.html SimPy

21. Ciw (мережі черг): https://ciw.readthedocs.io/ Ciw

22. Наукова стаття про Ciw: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17477778.2018.1473909 Taylor & Francis Online

23. Mesa (агентне моделювання): https://mesa.readthedocs.io/ Python Hosted

24. PySD (системна динаміка з Vensim/XMILE): https://pysd.readthedocs.io/ rdocumentation.org

25. Vensim Documentation (корисно для діаграм «запаси-потоки»): https://vensim.com/documentation/ vensim.com
26. PM4Py (process mining та мережі Петрі): https://pm4py.fit.fraunhofer.de/ pysd.readthedocs.io
27. PM4Py (офіційні туторіали/інсталяція): https://processintelligence.solutions/pm4py/ processintelligence.solutions
28. SNAKES (мережі Петрі для Python): https://snakes.ibisc.univ-evry.fr/ snakes.ibisc.univ-evry.fr
29. NumPy (random/ГВЧ): https://numpy.org/doc/stable/reference/random/index.html wiley.com
30. SciPy.stats (розподіли): https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/stats.html GitHub
31. pandas: https://pandas.pydata.org/docs/ faculty.ksu.edu.sa
32. Matplotlib (pyplot): https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.html statsmodels.org
33. statsmodels (ANOVA): https://www.statsmodels.org/stable/anova.html statsmodels.org
34. DOE пакети для Python — doepy: https://doepy.readthedocs.io/en/latest/ ; pyDOE3: https://pydoe3.readthedocs.io/ doepy.readthedocs.iopy
35. Касьяненко В. О., Старченко Л. В. Моделювання та прогнозування економічних процесів. Київ: Університетська книга, 2023. 185 с.
36. Моделювання систем. Практикум / уклад.: К. Х. Зеленський, К. С. Бовсуновська. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 82 с.
37. DeLaurentis D. A., Moolchandani K., Guariniello C. System of Systems Modeling and Analysis. Routledge, 2023. 287 p.
38. 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/
39. The AnyLogic Company. AnyLogic Help [Online]. – Режим доступу: http://www.anylogic.com/anylogic/help/
40. Український портал з імітаційного моделювання – Режим доступу: http://www.simulation.org.ua
41. Науковий журнал «Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація» – Режим доступу: http://kmauo.org/
42. Журнал "Mathematical Modeling and Computing"– Режим доступу: http://science.lpnu.ua/uk/mmc