

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 _____ F – Інформаційні технології

Спеціальність _____ F7 – 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, 2025. – 15 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. "27" 08 2025 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. "29" 08 2025 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:	Галузь знань <u>F – Інформаційні технології</u> (шифр і назва) Спеціальність <u>F7 – Комп’ютерна інженерія</u> (шифр і назва) Рівень вищої освіти: <u>Другий</u> (магістерський)	Обов’язкова	
кредитів – 4			
годин – 120		Рік підготовки:	
змістових модулів – 5		1	
ІНДЗ* – _____		Семестр	
(вид завдання)		2	
		Лекції	
		20 год.	
		Практичні, семінарські	
		Лабораторні	
		20 год.	
		Самостійна робота	
		80 год.	
		Індивідуальне завдання: —	
		Форма підсумкового контролю: 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 проєктів 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**:

а) 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.

б) 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, IT-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 моделі 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. Поток 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.

Тема 2. Поток 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.

Тема 3. Марковські процеси.

- 3.1. Марковські процеси з дискретним часом.
- 3.2. Марковські процеси з безперервним часом
- 3.3. Алгоритм розрахунку марковського ланцюга.
- 3.4. Системи локального балансу.

Змістовний модуль 2. Однорідні системи масового обслуговування.

Тема 4. Система масового обслуговування М/М/1.

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

- 4.2. Розрахунок СМО М/М/1: стаціонарні ймовірності, кількість заявок в системі, кількість заявок в черзі. Рівняння Літтла. Середній час очікування в черзі.

Тема 5. Система масового обслуговування М/М/М.

- 5.1. Розрахунок СМО М/М/1: стаціонарні ймовірності, кількість заявок та середній час очікування в черзі.

Тема 6. Системи масового обслуговування М/М/1/К та М/Г/1.

- 6.1. Розрахунок СМО М/М/1/К: стаціонарні ймовірності, кількість заявок в системі, середня довжина черги.
- 6.2. Розподіл загального виду. Приклад системи М/Е₃/1. Формули Поллачека-Хінчіна. Другий початковий момент тривалості обслуговування заявок. Середня кількість заявок в системі М/Г/1.

Змістовний модуль 3. Неоднородні системи масового обслуговування.

Тема 7. Неоднорідні системи масового обслуговування.

- 7.1. СМО М/Г/1 з М потоками вимог. Сумарні параметри та характеристики та формули Літтла для них. Закон збереження часу очікування в черзі.
- 7.2. Система масового обслуговування М/Г/1 з безпріоритетною дисципліною обслуговування (ДО БП). Розрахунок середнього часу очікування.
- 7.3. Система масового обслуговування М/Г/1 з дисципліною обслуговування з відносними пріоритетами (ДО ВП). Розрахунок часу очікування заявок k -го типу.
- 7.4. Система масового обслуговування М/Г/1 з дисципліною обслуговування з абсолютними пріоритетами (ДО АП). Розрахунок часу очікування заявок k -го типу.
- 7.5. Система масового обслуговування М/Г/1 з дисципліною обслуговування зі змішаними пріоритетами (ДО ЗП). Розрахунок часу очікування заявок k -го типу. Матриця пріоритетів.

Тема 8. Застосування моделі на підставі СМО М/Г/1.

- 8.1. Системи обробки даних та управляючі системи. Системи без обмеження на час обробки заявок. Функція штрафу.
- 8.2. Системи з відносними обмеженнями на час обробки заявок. Застосування закону збереження часу очікування.
- 8.3. Системи з абсолютними обмеженнями на час обробки заявок. Ймовірність перевищення допустимого часу очікування. Розрахунок обсягу пам'яті, необхідної для зберігання черги заявок.

Змістовний модуль 4. Мережі масового обслуговування.

Тема 9. Розімкнені мережі масового обслуговування (РММО).

- 9.1. Параметри та характеристики РММО. Теорема Джексона для РММО.
- 9.2. Методика розрахунку РММО.

Тема 10. Замкнені мережі масового обслуговування (ЗММО).

- 10.1. Параметри та характеристики ЗММО. Теорема Джексона для ЗММО.
- 10.2. Методика розрахунку ЗММО.
- 10.3. Алгоритм Б'юзена для розрахунку ЗММО. Переваги та недоліки моделей на підставі ЗММО.

Тема 11. Застосування моделей на підставі мереж масового обслуговування.

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

11.2. Агрегування. Припущення при розрахунку аналітичних моделей.

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

Тема 12. Елементи сіток. Хвильовий алгоритм моделювання мереж (часове моделювання).

12.1. Функція гілки. Функції вузла. Функція стану гілки.

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

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. Класифікація моделей. Властивості характеристик моделей. Елементи теорії масового обслуговування.	2	1			1														
Тема 2. Поток подій.											4	1			3				
Тема 3. Марковські процеси.											4	1			3				
Змістовий модуль 2. Однорідні системи масового обслуговування.																			
Тема 4. Система масового обслуговування М/М/1.	12	2		6	8														
Тема 5. Система масового обслуговування М/М/Ν.	12	2			8														
Тема 6. Системи масового обслуговування М/М/1//K та М/G/1.	12	1			9														
Змістовий модуль 3. Неоднорідні системи масового обслуговування.																			
Тема 7. Неоднорідні системи масового обслуговування.	15	2		6	10														
Тема 8. Застосування моделі на підставі СМО М/G/1.	13	2			8														
Змістовий модуль 4. Мережі масового обслуговування.																			
Тема 9. Розімкнені мережі масового обслуговування (РММО).	12	2		2	8														
Тема 10. Замкнені мережі масового обслуговування (ЗММО).	12	2		4	8														
Тема 11. Застосування моделей на підставі мереж масового обслуговування.	14	2			10														
Змістовий модуль 5. Імітаційне моделювання на підставі зважених орієнтованих графів (сіток).																			
Тема 12. Елементи сіток. Хвильовий алгоритм	8	2		2	4														

моделювання мереж (часове моделювання).										
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/Ν 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	
	Разом	20	

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	
	Разом	80	

В якості самостійної роботи здобувач може пройти професійні курси, тренінги, професійне стажування. онлайн-курси. громадську освіту, отримати відповідний сертифікат на освітніх платформах, що може бути зараховано як періодичний, поточний та фрагмент підсумкового контролю. Пропонуються до розгляду такі курси, які можуть бути визнані як періодичний, поточний контроль та/або бонусні бали (за бажанням здобувача):

<i>Назва освітньої платформи, назва онлайн курсу, короткий опис, посилання</i>	<i>Дотично до теми (та/або компетентності, результати навчання, що формуються)</i>
Coursera. Simulation Models for Decision Making (Module 1-2) https://www.coursera.org/learn/simulation-models-for-decision-making	Тема 1, 2.
Coursera. Discrete-Time Markov Chains and Monte Carlo Methods (Module 2-4) https://www.coursera.org/learn/discrete-time-markov-chains-monte-carlo-methods	Тема 3.
Coursera. Modeling Simulation Natural Processes (Module 7) https://www.coursera.org/learn/modeling-simulation-natural-processes	Тема 4.

Здобувач може самостійно обрати ресурси, які будуть відповідати навчальній дисципліні. Для зарахування в якості періодичного, поточного або фрагмента підсумкового контролю здобувач має подати документ, що підтверджує неформальну освіту, програму, зробити опис компетентностей та результатів навчання, сформованих під час неформальної освіти.

Викладач залишає за собою право перевірити сформованість перелічених компетентностей та результатів навчання

9. Методи навчання

Словесні: лекції, пояснення.

Наочні: мультимедійні презентації, демонстрація роботи з програмними системами моделювання, презентація результатів власних досліджень.

Практичні: лабораторні роботи за індивідуальними завданнями.

10. Форми контролю і методи оцінювання

Контроль здійснюється з дотриманням вимог об'єктивності, індивідуального підходу, систематичності і системності та всебічності.

поточний контроль – опитування; оцінювання результатів індивідуальної роботи, ;

періодичний контроль – дві контрольні роботи;

підсумковий контроль – іспит.

Під час **контрольної роботи №1** студент повинен відповісти на 1 запитання з переліку, наведеному у п. 11.1.

Контрольна робота №2 є виключно практичною, орієнтованою 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:

Оцінка за національною шкалою для заліку та іспиту	100 бальна шкала / Оцінка ECTS	Теоретична підготовка	Практична підготовка
Відмінно	90-100 / A	Здобувач у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, розгорнуто, обґрунтовано та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей. Здобувач демонструє чітке знання відповідних категорій, їх змісту, розуміння їх взаємозв'язку, правильно формулює тлумачення відповідних понять, демонструє знання змісту передбачених програмою робить самостійні висновки. Здобувач вміє самостійно знаходити додаткову інформацію та використовувати її для реалізації поставлених завдань, вільно використовує нові інформаційні технології для поповнення знань.	Здобувач може аргументовано створити алгоритм та програмну модель з лабораторних завдань, виконує практичні завдання не передбачені навчальною програмою, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу, проявляє творчий підхід до виконання індивідуальних та колективних завдань при самостійній роботі.
Добре	85 – 89 / B	Здобувач достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, використовуючи при цьому обов'язкову літературу, застосовує знання для розв'язання стандартних ситуацій, самостійно аналізує, узагальнює і систематизує навчальну інформацію, але допускає неточності, які не є суттєвими для характеристики предмету питання та не впливають істотно на загальну характеристику того чи іншого явища (поняття).	Здобувач має стійкі навички виконання лабораторних та практичних завдань, правильно вирішує більшість практичних завдань.
Добре	75 – 84 / C	Здобувач виявляє загалом високий рівень знань щодо всієї програми навчальної дисципліни, на достатньому рівні володіє навчальним матеріалом, застосовує знання для розв'язання стандартних ситуацій, але не вміє самостійно аналізувати деякі питання, не повністю переконливо аргументувати свої відповіді, допускає незначні неточності.	Здобувач за зразком самостійно виконує лабораторні та практичні завдання, передбачені програмою навчальної дисципліни.
Задовільно	70 – 74 / D	Здобувач володіє навчальним матеріалом на репродуктивному рівні або відтворює певну частину навчального матеріалу з елементами логічних зв'язків. Здобувач знає основні поняття навчального матеріалу, але має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого та під час виявлення причинно-наслідкових зв'язків та формулювання висновків.	Здобувач має елементарні навички виконання лабораторних та практичних завдань, правильно вирішує лише половину практичних завдань.
Задовільно	60 – 69 / E	Здобувач не повною мірою розуміє предмет навчальної дисципліни, наявні недоліки у розкритті змісту понять. Здобувач надає нечіткі характеристики відповідних явищ, викладає свої думки з істотним порушенням логіки подання матеріалу.	Здобувач може використовувати знання лише в стандартних практичних ситуаціях, має нестійкі навички виконання лабораторних завдань, робить багато суттєвих помилок.

Незадовільно з можливістю повторного складання	35 – 59 / FX	Здобувач неправильно розкриває сутність базових питань навчальної дисципліни, допускає суттєві змістові помилки, володіє навчальним матеріалом поверхнево й фрагментарно, безсистемне виокремлює випадкові ознаки вивченого, не вміє сформулювати свою думку та викласти її в логічній послідовності, робити узагальнення та висновки.	Здобувач здатний виконати лише окремі лабораторні та практичні завдання за допомогою викладача. У здобувача відсутні сформовані уміння та навички.
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	0 – 34 / F	Здобувач не знає основних положень навчальної дисципліни, не володіє навчальним матеріалом.	Здобувач виконує лише елементи практичних завдань, потребує постійної допомоги викладача.

11. Питання до контролю

11.1. Питання до 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/М.
6. Опишіть алгоритм розрахунку систем масового обслуговування М/М/1//К та М/Г/1.

11.2. Питання до контрольної роботи №2

Всі варіанти містять однакові запитання, а саме:

Розрахувати:

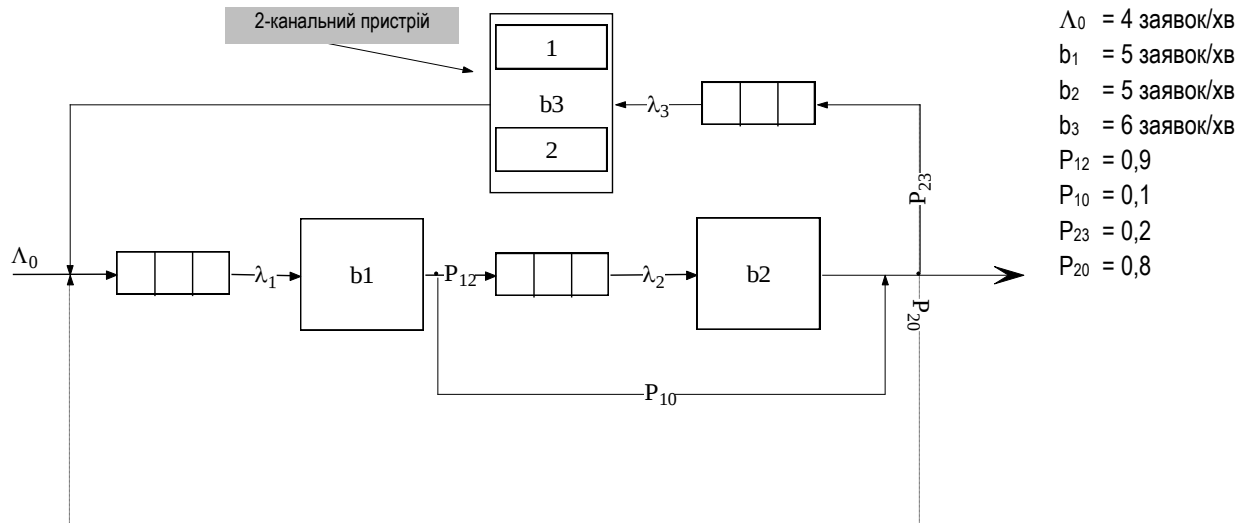
1) вузлові характеристики моделі:

- *інтенсивність потоку заявок, що входять в i -й вузол, λ_i .*
- *завантаження ρ_i і коефіцієнт простою η_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 .*

Приклад варіанту завдання:



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: *агрегування*. 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 λ . Спочатку вони у відділі №1 отримують пропуск за час b_1 , а потім йдуть до клерка у відділ №2, що обслуговує їх з інтенсивністю μ_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 λ 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 λ 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, описувану 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 λ , k , і μ , і середнє число заявок у системі.

12. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота												Іспит	Сума			
Змістовий модуль №1			Змістовий модуль № 2			Змістовий модуль №3		КР1	Змістовий модуль № 4					Змістовий модуль № 5		КР2
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		T9	T10	T11			T12		
2	2	2	16			12		10	4	12		4	16	20	100	

T1, T2 ... – теми змістових модулів,
КР1, КР2 – 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»		
70 — 74	D – «задовільно»	3 «задовільно»	
60 — 69	E – «допустимо»		
35 — 59	F – «незадовільно з можливістю повторного складання»	2 «незадовільно»	«незалік»
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. 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. – URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/de7cd488-c9a3-433a-b6ce-a5dacff9e9dd/content>.
2. Соколовський Я.І. Моделювання систем в середовищі GPSS World: навч. посіб. / Я.І. Соколовський, Ю.В. Шабатура, Я.І. Вихлюк [та ін.]; за ред. В.В. Пасічника. – Львів : «Новий Світ – 2000», 2020. – 288 с.
3. Малахов Є.В. Конспект лекцій з курсу «Імітаційне моделювання». Електронне видання. – 2023. – URL: <https://pub.onu.edu.ua/fakultet-matematyky-fizyky-ta-informatsiinykh-tekhnologii/64-osvitnii-riven-mahistr/spetsialnist-123-kompiuterna-inzheneriia>.
4. Klinaku F. et al. An architectural view type for elasticity modeling and simulation—The Slingshot approach //Journal of Systems and Software. – 2025. – С. 112432.
5. Koren M., Peretz O. Quantum simulation of single-server Markovian queues: A dynamic amplification approach //arXiv preprint arXiv:2410.08252. – 2024.
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. Zhang, Yu, Yan-Qing Zhu, Jianwen Xu, Wen Zheng et al. Exploring Parity Magnetic Effects through Experimental Simulation with Superconducting Qubits. (2023). Physical Review Applied, Volume 21, Issue 3, 12 pp. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.21.034052.
9. 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>
10. 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

11. 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
12. 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. URL: <https://documents.pub/document/oe-oe-oe-oe-a-queueing.html>.
13. Дубовой В. М. Імітаційне моделювання в системі SCILAB/XCOS: навчальний посібник [Електронний ресурс] / В. М. Дубовой, М. С. Юхимчук ; Мво освіти і науки України, Вінницьк. нац. техн. ун-т, Каф. Комп'ютерних систем управління. – Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2018. – URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovyj_imitacijne_modelyuvannya_v_systemi_Scilab-Xcos/.
14. 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.
15. Жлуктенко В.І., Бегун А.В. Стохастичні моделі в економіці: Монографія. – К.: КНЕУ, 2005.
16. Thomas J. Schriber. Simulation Using GPSS. – John Wiley & Sons, 1974. – 534 p. – ISBN: 978-0-471-76310-9.
17. Grigoryev Ilya. AnyLogic 8 in Three Days: A Quick Course in Simulation Modeling. – 5th edition. – AnyLogic, Kindle Edition, 2018. – 246 p.
18. Малахов Є.В. Розробка та дослідження інформаційно-обчислювальної системи для керування процесами обслуговування рухомих об'єктів: Дис. ... канд. техн. наук. / АН України. Ін-т проблем реєстрації інформації. – Київ, 1993.

15. Електронні інформаційні ресурси

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