

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



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи

[Signature]

[Signature]

20 26 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, 2026. — 18 с.

Розробники:

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

Шестопалов С.В., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри МЗКС

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

Протокол № 1 від. "24" 08 2026р.

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. "28" 08 2026р.

Голова НМК

(підпис)

(Лариса МАРТИНОВИЧ)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри _____

Протокол № ____ від. " ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

(підпис)

(_____)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри _____

Протокол № ____ від. " ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

(підпис)

(_____)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Загальна кількість: кредитів – 4 годин – 120 змістових модулів – 5	Галузь знань <u>F – Інформаційні технології</u> (шифр і назва) Спеціальність <u>F7 – Комп’ютерна інженерія</u> (код і назва) ОПП <u>Комп’ютерна інженерія</u> (назва) Рівень вищої освіти: <u>Другий</u> <u>(магістерський)</u>	Обов’язкова	
		Рік підготовки:	
		1	
		Семестр	
		2	
		Лекції	
		20 год.	
		Практичні, семінарські	
		Лабораторні	
		20 год.	
		Самостійна робота	
		80 год.	
		Форма підсумкового контролю: іспит	

2. Мета дисципліни

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

Завдання:

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

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

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.

бути здатним: проводити дослідження на відповідному рівні, шукати, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел, приймати обґрунтовані рішення, визначати технічні характеристики, конструктивні особливості, застосовувати і експлуатувати програмні, програмно-технічні засоби, комп'ютерні системи та мережі різного призначення, будувати та досліджувати моделі комп'ютерних систем та мереж, ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу програмно-технічних засобів, комп'ютерних систем, мереж та їхніх компонентів, обирати ефективні методи розв'язування складних задач комп'ютерної інженерії, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення, використовувати методи аналізу, ідентифікації й синтезу комп'ютерних систем та мереж, кіберфізичних систем, ІТ-інфраструктур, застосовувати математичний апарат для аналізу, дослідження, проектування, синтезу, програмного та алгоритмічного забезпечення комп'ютерних систем, мереж, та їх складових, досліджувати, проектувати та моделювати елементи кіберфізичних систем з використанням сучасних науково-технічних методів.

Опанування цієї навчальної дисципліни забезпечує набуття здобувачами навичок і компетентностей, спрямованих на досягнення глобальних **цілей сталого розвитку** до 2030 року, що проголошені резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй від 25 вересня 2015 року No 70/1 та визначені Указом Президента України від 30 вересня 2019 року No 722, зокрема:

Якісна освіта (ЦСР 4), а саме: 4.4. Збільшення кількості молоді з відповідними навичками для гідної праці та підприємництва. Курс надає магістрам поглиблені знання з моделювання складних систем, що підвищує їхню кваліфікацію та відповідає завданню забезпечення якісної освіти в галузі ІТ, вивчення теорії черг та імітаційного моделювання готує фахівців для роботи з сучасними проблемами оптимізації та аналізу даних.

Гідна праця та економічне зростання (ЦСР 8), а саме: 8.2. Підтримка інновацій та підвищення економічної продуктивності через сучасні ІТ-технології. Навички імітаційного моделювання дозволяють оптимізувати бізнес-процеси, логістичні ланцюги та виробничі системи, що підвищує ефективність економіки. Випускники можуть працювати в галузях, де потрібне моделювання складних систем (наприклад, фінанси, охорона здоров'я, транспорт), сприяючи створенню високотехнологічних робочих місць.

Інновації та інфраструктура (ЦСР 9), а саме: 9.4. До 2030 року модернізувати інфраструктуру і переобладнати промислові підприємства ...; 9.5 Активізувати наукові дослідження, нароцувати технологічний потенціал промислових секторів Імітаційне моделювання є ключовим інструментом для проектування та оптимізації інфраструктури (транспортні мережі, енергетичні системи, SMART-міста) – воно дозволяє тестувати інноваційні рішення в віртуальному середовищі, зменшуючи витрати та ризики при впровадженні.

Сталі міста та громади (ЦСР 11), а саме: 11.2. До 2030 року забезпечити всім можливість користуватися безпечними, недорогими, доступними та екологічно стійкими транспортними системами на основі підвищення безпеки дорожнього руху ...; 11.3 До 2030 року розширити масштаби відкритої для всіх і екологічно стійкої урбанізації та можливості для комплексного і сталого планування населених пунктів та управління ними ...; 11.a Підтримувати позитивні економічні, соціальні та екологічні зв'язки між міськими, приміськими і сільськими районами Теорія черг і імітаційне моделювання використовуються для оптимізації міської інфраструктури (наприклад, громадський транспорт, світлофори, енергопостачання), що допомагає зменшити затори, енергоспоживання та покращити якість життя в містах.

Відповідальне споживання та виробництво (ЦСР 12), а саме: 12.5 До 2030 року суттєво зменшити обсяг відходів через вживання заходів щодо запобігання їх утворенню, їх скорочення, переробки та повторного використання; 12.a Надавати розвитковим країнам допомогу в нароцванні їх науково-технічного потенціалу для переходу до більш раціональних моделей споживання і виробництва. Моделювання дозволяє аналізувати та оптимізувати використання ресурсів (наприклад, зменшення відходів у виробництві, ефективне планування логістики), знаходити способи зменшення енерговитрат та інших ресурсів.

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 $M/M/1$.

- 4.1. Параметри та характеристики систем масового обслуговування. Завантаження обслуговуючого приладу. Мнемоника Башаріна-Кендала.
- 4.2. Розрахунок СМО $M/M/1$: стаціонарні ймовірності, кількість заявок в системі, кількість заявок в черзі. Рівняння Літтла. Середній час очікування в черзі.

Тема 5. Система масового обслуговування $M/M/N$.

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

Тема 6. Системи масового обслуговування $M/M/1/K$ та $M/G/1$.

- 6.1. Розрахунок СМО $M/M/1/K$: стаціонарні ймовірності, кількість заявок в системі, середня довжина черги.
- 6.2. Розподіл загального виду. Приклад системи $M/E_3/1$. Формули Поллачека-Хінчіна. Другий початковий момент тривалості обслуговування заявок. Середня кількість заявок в системі $M/G/1$.

Змістовний модуль 3. Неоднорідні системи масового обслуговування.

Тема 7. Неоднорідні системи масового обслуговування.

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

Тема 8. Застосування моделі на підставі СМО $M/G/1$.

- 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/с	лаб	ср		л	п/с	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/М.	12	2			8													
Тема 6. Системи масового обслуговування М/М/1//К та М/Г/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/Г/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 моделювання мереж (часове моделювання).	8	2		2	4				
Всього годин	120	20		20	80				

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені

7. Теми лабораторних занять

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

8.1. Визнання результатів, отриманих в системі неформальної/інформальної освіти

В рамках опанування цієї навчальної дисципліни здобувач може пройти освітні або професійні курси/тренінги, професійне стажування, онлайн-курси на масових платформах чи у системі громадянської освіти.

<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 має право також обрати самостійно освітню платформу та курс, які відповідають змісту цієї навчальної дисципліни.

Результати, отримані в системі неформальної/інформальної освіти, засвідчуються відповідним сертифікатом, де вказуються обсяг годин (або кількість кредитів ЄКТС) та здобуті компетентності та результати навчання. Такі результати можуть бути зараховані як результати поточного, періодичного або підсумкового контролю за цією навчальною дисципліною за процедурами, визначеними «Положенням про порядок визнання у вищій та фаховій передвищій освіті результатів навчання, здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти в Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова та відокремленому структурному підрозділі «Фаховий коледж ОНУ імені І. І. Мечникова» https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/documents/polozennya/polozhennya_neformalna_osvita_2024_final.pdf.

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 (у т.ч. критерії оцінювання результатів навчання)

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.

Критерії оцінювання за різними видами роботи

Вид контролю	Кількість балів
Захист лабораторної роботи №1	Від 0 до 10 балів
Захист лабораторної роботи №2	Від 0 до 12 балів
Захист лабораторної роботи №3	Від 0 до 12 балів
Контрольна робота №1	Від 0 до 10 балів
Захист лабораторної роботи №4	Від 0 до 16 балів
Захист лабораторної роботи №5	Від 0 до 4 балів
Контрольна робота №2	Від 0 до 16 балів

Вид контролю	Бали				Критерії
	л/р 1	л/р 2, 3	л/р 4	л/р 5	
Захист лабораторної роботи	0-3	0-4	0-4	0-1	коректний вибір імітаційної моделі, знання типів моделей, потоків подій
	0-4	0-4	0-5	0-2	коректна (працююча) GPSS-модель у середовищі GPSS World, знання блоків моделі
	0-3	0-4	0-5	0-1	коректна інтерпретація результатів моделювання, підбір параметрів для досягнення вимог постановки задачі
Контрольна робота №1	0-3				знання основних понять навчального матеріалу, але є ускладнення під час виділення їх суттєвих ознак

	3-6	достатньо повне володіння навчальним матеріалом, але є неточності, які не є суттєвими; знання відповідних формул, але без їх глибокого розуміння
	6-10	чітке знання відповідних категорій, їх змісту, розуміння їх взаємозв'язку, правильне формулювання та тлумачення відповідних понять та формул, демонстрація знань їх змісту
Контрольна робота №2	0-5	неповний / частковий розрахунок моделі мережі масового обслуговування
	6-10	повний розрахунок моделі мережі масового обслуговування без обґрунтування та висновків
	11-16	повний аргументований розрахунок моделі мережі масового обслуговування, надання висновків

Політика щодо дедлайнів та перескладання: У випадку пропуску заняття з поважних причин здобувач зобов'язаний виконати контрольну роботу за відповідною темою у позанавчальний час за погодженням з викладачем. Перескладання відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин.

Політика щодо академічної доброчесності: під час опанування навчальної дисципліни категорично не припускаються будь-які види порушень академічної доброчесності з боку як здобувачів вищої освіти, так й викладача. У разі виявлення та фіксації будь-якого виду порушення академічної доброчесності, до порушника будуть застосовані санкції, передбачені Законом України «Про академічну доброчесність» та внутрішніми нормативними документами Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Політика щодо використання штучного інтелекту: в ході опанування цієї навчальної дисципліни забороняється оприлюднення текстів, зображень, моделей, даних, інших результатів, згенерованих штучним інтелектом, як результатів власної академічної та навчальної діяльності, якщо це не дозволено умовами навчального завдання, а сам цей факт не зазначено в навчальному завданні чи супровідних матеріалах до нього. Під час проходження підсумкового оцінювання використання ресурсів штучного інтелекту забороняється.

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/Н.
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:

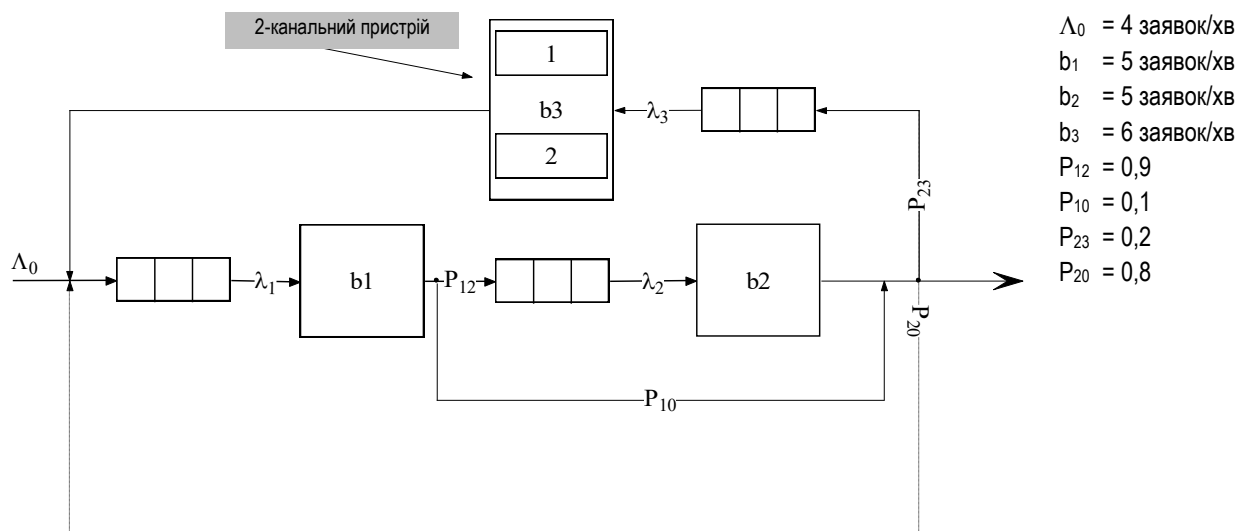
1) вузлові характеристики моделі:

- 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. Поняття моделі та моделювання. Вимоги до адекватності моделей.
2. Класифікація моделей: фізичні та абстрактні, концептуальні та математичні моделі.
3. Характеристика математичних моделей: детерміновані та стохастичні, дискретні та безперервні моделі.
4. Порівняльний аналіз аналітичних, чисельних та імітаційних методів дослідження систем.
5. Основні характеристики та властивості моделей: складність, трудомісткість та точність.
6. Залежність точності моделі від її складності та принципи коректування моделей.
7. Потоки подій: основні визначення, класифікація, стаціонарність, ординарність та відсутність післядії.
8. Закон Пуассона для потоків подій, його математичне очікування та дисперсія.
9. Найпростіший потік подій та його зв'язок із показовим (експоненціальним) розподілом інтервалів часу.

10. Основні властивості найпростішого потоку: сумування, проріджування та групування подій.
11. Потік Ерланга k -го порядку: спосіб формування, щільність розподілу та коефіцієнт варіації.
12. Гіперекспонентний розподіл потоків подій: генерація, математичні характеристики та коефіцієнт варіації.
13. Визначення та поняття марковських процесів. Способи завдання марковських процесів (графи, матриці переходів).
14. Марковські процеси з дискретним часом: обчислення ймовірностей станів через k кроків.
15. Марковські процеси з безперервним часом: щільність ймовірності переходу та інтенсивності переходів.
16. Виведення та фізичний зміст диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена.
17. Поняття ергодичності системи та складання системи алгебраїчних рівнянь для стаціонарного режиму.
18. Процеси загибелі та розмноження. Умова локального балансу в марковських ланцюгах.
19. Елементи СМО, їхні параметри, характеристики та нотація Башаріна-Кендалла.
20. Дисципліни та режими обслуговування заявок (статичні, динамічні, поодинокі, групові).
21. Аналіз та розрахунок основних характеристик одноканальної СМО М/М/1.
22. Фізичний зміст завантаження системи ρ , ймовірності простою та формули Літтла.
23. Багатоканальні системи масового обслуговування: математичний опис та розрахунок СМО М/М/Н.
24. Моделювання СМО зі скінченною кількістю джерел навантаження (СМО М/М/1//К).
25. Одноканальні СМО загального вигляду М/Г/1: формули Полачека-Хінчина для часу очікування та довжини черги.
26. Неоднорідні СМО: характеристики сумарного потоку заявок та закон збереження часу очікування Клейнрока.
27. Неоднорідні СМО без пріоритетів (СМО БП) при дисципліні FIFO.
28. СМО з відносними пріоритетами (СМО ВП): методика розрахунку часу очікування та властивість захисту від перевантажень.
29. СМО з абсолютними пріоритетами (СМО АП): умови ефективності використання та розрахунок часу перебування заявок.
30. СМО зі змішаними пріоритетами (СМО ЗП): принципи організації та визначення часу очікування для різних класів вимог.
31. Моделі СМО М/Г/1 з обмеженнями на час перебування та час очікування заявок у системі (відносні та абсолютні обмеження).
32. Розрахунок необхідного обсягу пам'яті для зберігання черги вимог у СМО.
33. Поняття мереж масового обслуговування (ММО), їх класифікація, маршрутна матриця та параметри.
34. Розімкнуті мережі масового обслуговування (РММО): параметри, характеристики та теорема Джексона.

35. Методика та алгоритм розрахунку розімкнутих мереж масового обслуговування.
36. Замкнуті мережі масового обслуговування (ЗММО): параметри, характеристики та застосування теореми Джексона.
37. Алгоритм Б'юзена для розрахунку замкнутих ММО, його переваги та недоліки.
38. Методи еквівалентних перетворень ММО: перетворення ЗММО у РММО («розвал» мережі) та толерантні мережі.
39. Агрегування СМО у мережах масового обслуговування та основні припущення при побудові аналітичних моделей.
40. Імітаційне моделювання на основі зважених орієнтованих графів (сіток) та елементи сіток.
41. Хвильовий алгоритм часового моделювання мережевих моделей (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 t хв. C_2 — вартість хвилини очікування 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,
 KP1, KP2 – контрольні роботи.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Оцінка за національною шкалою	Теоретична підготовка	Практична підготовка
	Здобувач освіти	
90-100/ зараховано	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.	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.
75-89 / зараховано	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).	має стійкі навички виконання лабораторних та практичних завдань, правильно вирішує більшість практичних завдань.
60-74 /зараховано	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.	може використовувати знання лише в стандартних практичних ситуаціях, має нестійкі навички виконання лабораторних завдань, робить багато суттєвих помилок.
35-59 / не зараховано з можливістю	неправильно розкриває сутність базових питань навчальної дисципліни, допускає суттєві змістові помилки, володіє навчальним матеріалом поверхнево й	здатний виконати лише окремі лабораторні та практичні завдання за допомогою

повторного складання	фрагментарно, безсистемне виокремлює випадкові ознаки вивченого, не вміє сформулювати свою думку та викласти її в логічній послідовності, робити узагальнення та висновки.	викладача. У здобувача відсутні сформовані уміння та навички.
0-34/ не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не знає основних положень навчальної дисципліни, не володіє навчальним матеріалом.	виконує лише елементи практичних завдань, потребує постійної допомоги викладача.

Примітка: максимальна кількість балів за кожною темою вказана в п.12.

13. Навчально-методичне забезпечення

Робоча програма дисципліни.

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>.

Мультимедійна презентація.

14. Рекомендована література

Основна

1. Уривський Л. О., Мошинська А. В., Осипчук С. О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 202 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/de7cd488-c9a3-433a-b6ce-a5dacff9e9dd/content> (дата звернення: 08.09.2026).
2. Соколовський Я. І., Шабатура Ю. В., Виклюк Я. І. Моделювання систем в середовищі GPSS World : навч. посіб. / за ред. В. В. Пасічника. Львів : Новий Світ – 2000, 2020. 288 с.
3. Малахов Є. В. Конспект лекцій з курсу «Імітаційне моделювання» : електрон. вид. 2023. URL: <https://pub.onu.edu.ua/fakultet-matematyky-fizyky-ta-informatsiinykh-tekhnologii/64-osvitnii-riven-mahistr/spetsialnist-123-kompiuterna-inzheneriia> (дата звернення: 27.08.2026).
4. Klinaku F., Becker S., Hartenstein H., Krupitzer C. et al. An architectural view type for elasticity modeling and simulation — The Slingshot approach. *Journal of Systems and Software*. 2025. Vol. 219. Art. 112432. DOI: 10.1016/j.jss.2024.112432
5. Koren M., Peretz O. Quantum simulation of single-server Markovian queues: A dynamic amplification approach. *arXiv preprint arXiv:2410.08252*. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2410.08252
6. Kleinrock L. Queueing Systems. Vol. 1: Theory. New York : John Wiley & Sons, 1975. 448 p.
7. Kleinrock L. Queueing Systems. Vol. 2: Computer Applications. New York : John Wiley & Sons, 1976. 640 p.
8. Zhang Y., Zhu Y.-Q., Xu J., Zheng W. et al. Exploring Parity Magnetic Effects through Experimental Simulation with Superconducting Qubits. *Physical Review Applied*. 2024. Vol. 21, issue 3. Art. 034052. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.21.034052
9. Choi B. K., Kang D. Modeling and Simulation of Discrete-Event Systems. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2013. 432 p. DOI: 10.1002/9781118732793
10. Sayama H. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. Geneseo, NY : Open SUNY Textbooks, 2015. 498 p. URL: <https://textbooks.opensuny.org/download/introduction-to-the-modeling-and-analysis-of-complex-systems-sayama-pdf/> (дата звернення: 27.08.2026).

Додаткова

11. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 141 с.

12. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування : практикум. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 307 с. URL: <https://documents.pub/document/oe-oe-oe-oe-a-queueing.html> (дата звернення: 08.09.2026).
13. Дубовой В. М., Юхимчук М. С. Імітаційне моделювання в системі SCILAB/XCOS : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2018. 138 с. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/10dubovyj_imitacijne_modelyuvannya_v_systemi_Scilab-Xcos/ (дата звернення: 27.08.2026).
14. Кравець І. О. Імітаційне моделювання : навч. посіб. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. 108 с.
15. Жлуктенко В. І., Бегун А. В. Стохастичні моделі в економіці : монографія. Київ : КНЕУ, 2005. 320 с.
16. Schriber T. J. Simulation Using GPSS. New York : John Wiley & Sons, 1974. 534 p.
17. Grigoryev I. AnyLogic 8 in Three Days: A Quick Course in Simulation Modeling. 5th ed. AnyLogic, 2018. 246 p.
18. Volodymyr Samburskyi, Improving the survivability of a reconnaissance UAV swarm based on cellular automata / Volodymyr Samburskyi, Eugene V. Malakhov // Proceedings of 2024 10th International Conference on Computer Technology Applications (ICCTA 2024), May 15-17, 2024, Vienna, Austria. – PP. 310-315. – DOI: 10.1145/3674558.3674603
19. Kozlov, M. S. ; Malakhov, E. V. .; Samikannu , R. ; Shvets, Y. O. AI-Assisted Optimization of Multi-Agent System Parameters: A Model of Iterative Hyperparameter Tuning in Swarm Intelligence Algorithms. AAIT 2026, 9 (3), 310-325. DOI: 10.15276/aait.09.2026.21

15. Електронні інформаційні ресурси

1. GPSS World line of simulation products : [вебсайт] / Minuteman Software. URL: <http://www.minutemansoftware.com> (дата звернення: 27.08.2026).