



Теорія масового обслуговування та математичної статистики

Робоча програма навчальної дисципліни «Теорія масового обслуговування та математичної статистики» (Силабус)

РЕКВІЗИТИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма	Інформаційно-комунікаційні технології
Статус дисципліни	обов'язкова
Форма навчання	очна (денна)
Рік підготовки, семестр	рік другий, семестр 4
Обсяг дисципліни	4 кредити ЄКТС (120 годин), з них лекції —45 годин, практичні заняття — 27 годин, самостійна робота — 46 години.
Семестровий контроль / контрольні заходи	Модульна контрольна робота Залік
Розклад занять	Згідно з розкладом
Мова викладання	українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Арясова Ольга Вікторівна, професор ІКТС ІТС, д. ф.-м. н., ст. н. с, oaryasova@gmail.com https://ikts-its.kpi.ua/ariasova-olha-viktorivna/
Розміщення курсу	Визначається лектором та доводиться до відома студентів на першому занятті

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

1.1. Опис навчальної дисципліни

Вивчення основ математичної статистики, теорії випадкових процесів та застосування цих дисциплін для дослідження моделей масового обслуговування, що виникають в прикладних задачах, пов'язаних з телекомунікаційними системами і мережами.

1.2. Мета навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей формулювати та розв'язувати задачі теорії масового обслуговування, пов'язані з дослідженням телекомунікаційних систем та мереж

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів **компетентностей**:

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності
- Здатність використовувати нормативну та правову документацію, що стосується інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем (закони України, технічні регламенти, міжнародні та національні стандарти, рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку і т.п.) для вирішення професійних завдань
- Здатність складати нормативну документацію (інструкції) з експлуатаційнотехнічного обслуговування інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, а також за програмами випробувань
- Здатність проводити роботи з керування потоками навантаження інформаційнотелекомунікаційних мереж
- Здатність до самостійного створення керованих інформаційних середовищ малих підприємств (SOHO – Small office, Home office), стартапів і бути готовими для проходження спеціалізованих курсів та здачі сертифікаційних випробувань зі створення та адміністрування мереж Microsoft Windows, розгортання служби Microsoft Active Directory, Linux Professional Institute Certification.
- Здатність розробляти на базі сучасних телекомунікаційних технологій відповідні програмно-апаратні платформи для безпроводових і мобільних мереж інфокомунікацій, здійснювати їх інтеграцію з іншими інфокомунікаційними мережами, зокрема мережами мобільного зв'язку 4-го і 5-го покоління
- Володіння сучасними підходами та технологіями для планування, проектування, використання та створення засобів для адміністрування інформаційно-комунікаційних мереж з використанням методів прихованої передачі інформації в телекомунікаційних мережах за рахунок вбудовування інформації в відео, аудіо, нерухомі зображення та мережеві заголовки (RTP, TCP та інші).
- Пояснювати принципи побудови й функціонування апаратно-програмних комплексів систем керування та технічного обслуговування для розробки, аналізу і експлуатації інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем
- Забезпечувати надійну та якісну роботу інформаційно-комунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем
- Контролювати технічний стан інформаційно-комунікаційних мереж, телекомунікаційних і радіотехнічних систем у процесі їх технічної експлуатації з метою виявлення погіршення якості функціонування чи відмов, та його систематична фіксація шляхом документування.
- Виконувати пошуково-дослідні роботи по вдосконаленню сучасних інфокомунікаційних технологій, провадити розрахунки необхідних параметрів проєктованих мереж; створювати та оформлювати проєктну і експлуатаційну документацію
- Вільно орієнтуватися в системі правового забезпечення телекомунікацій, використовувати знання законодавчих та нормативних актів для організації діяльності в галузі телекомунікацій і радіотехніки, вміти бачити перспективи розвитку правового регулювання в галузі телекомунікаційних технологій

1.3. Предмет вивчення дисципліни

Предмет навчальної дисципліни – системи масового обслуговування; процеси Маркова як такі, що найчастіше виникають при моделюванні роботи системи масового обслуговування в телекомунікаціях (телефонні станції, сервери, хмарні сховища тощо); основні характеристики якості роботи системи масового обслуговування (розподіли кількості вимог в системі, часу чекання, періоду зайнятості, знаходження стаціонарних розподілів системи), критерії ефективної роботи системи.

1.4. Результати навчання

Знання розподілу кількості вимог в системі, часу чекання, періоду зайнятості, стаціонарних розподілів системи. Уміння розраховувати середню довжину черги вимог, досліджувати потоки вимог та знаходити їх основні характеристики

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Перелік дисциплін або знань та умінь, володіння якими необхідні здобувачу вищої освіти для успішного засвоєння дисципліни	Перелік дисциплін, які базуються на результатах навчання з даної дисципліни
Вища математика, Теорія ймовірностей	Основи теорії інформаційно-телекомунікаційних мереж. Частина 1

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема №1. Основи математичної статистики.

Основні задачі математичної статистики. Основи теорії оцінювання невідомих параметрів. Оцінки математичного сподівання, дисперсії, функції розподілу та їх властивості. Оцінки максимальної правдоподібності. Метод найменших квадратів. Довірчі інтервали. Перевірка гіпотез.

Тема №2. Ланцюги Маркова.

Ланцюги Маркова із скінченою або зліченою кількістю станів. Означення. Марківська властивість. Однорідні ланцюги Маркова. Скінченновимірні розподіли. Матриця перехідних ймовірностей. Матриця перехідних ймовірностей за n кроків. Граф ланцюга Маркова. Класифікація станів. Сполучність, істотність. Властивості. Період стану. Теорема про рівність періодів. Стаціонарний розподіл ланцюга Маркова. Гранична теорема для перехідних ймовірностей ланцюга (теорема Маркова). Процеси народження та загибелі, стаціонарний розподіл процесів народження та загибелі. Приклади. Ймовірність досягнення множини. Ймовірність досягнення однієї множини раніше ніж іншої. Математичне сподівання часу досягнення множини.

Зворотність (рекурентність). Зв'язок між зворотністю та істотністю. Критерій зворотності. Теорема про кількість повернень. Теорема про зв'язок зворотності та істотності в ланцюгу Маркова зі скінченною кількістю станів. Гранична поведінка перехідних ймовірностей довільного ланцюга Маркова. Ергодичні властивості ланцюгів Маркова: середня кількість відвідування стану, зв'язок середнього часу повертання в стан та стаціонарного розподілу, середня кількість проходження шляху (i, j) . Елементи теорії півмарківських процесів. Означення. Вкладений ланцюг Маркова. Середня кількість відвідування стану. Середній час досягнення множини. Гранична поведінка ймовірності знаходження в стані.

Застосування генератрис до дослідження ланцюгів Маркова. Розв'язок однорідних рекурентних рівнянь: характеристичний многочлен, різні корені, кратні корені. Розв'язок неоднорідних рекурентних рівнянь. Приклади. Знаходження генератрис для системи масового обслуговування з груповим надходженням вимог.

Тема №3. Процеси Маркова зі скінченою кількістю станів і неперервним часом.

Означення. Однорідні процеси. Перехідні ймовірності. Інтенсивність переходу. Інтенсивність для суми незалежних потоків. Рівняння Колмогорова, генератор процесу Маркова. Скінченновимірні розподіли. Стаціонарний розподіл. Граничні ймовірності станів. Процеси народження і загибелі. Моделі масового обслуговування, пов'язані з процесами Маркова. Основні характеристики якості роботи системи масового обслуговування. Процеси Маркова, стаціонарний режим. Системи, що описуються за допомогою процесів народження та загибелі $(M/M/1, M/M/\infty, M/M/n, M/M/n/m, M/M/n/m$ з втратами, $M/M/n/m/k)$. Задача обслуговування K машин одним майстром. Системи з різними видами пріоритетів. Розподіл часу знаходження в стані. Розподіл стрибка процесу Маркова. Моделювання. Формула Літтла та її застосування. Ймовірність відмови. Середній час обслуговування. Розподіл Ерланга надходження або обслуговування, метод етапів. Математичне сподівання часу досягнення множини. Ймовірність досягнення множини. Ймовірність досягнення однієї множини раніше ніж другої.

Тема №4. Вхідні потоки та теорія відновлення.

Потоки подій, процес відновлення, процес відновлення із затримкою. Середня кількість відновлень. Теорема відновлення та наслідки з неї. Рівняння відновлення та його застосування в теорії масового обслуговування: задача контролю, залишковий час обслуговування, минулий час обслуговування, поламки з простоями, загублені вимоги. Парадокс контролю. Простіший потік. Потоки Ерланга. Граничні теореми для сумарного потоку, потоки, що рідіють. Суміш та проріджування простішого потоку.

Тема №5. Напівмарківські моделі теорії масового обслуговування.

Система M/G/1. Залишковий час. Вкладений ланцюг Маркова. Середня довжина черги. Розподіл кількості вимог в системі, часу чекання, періоду зайнятості. Пріоритетні системи обслуговування. Гранична поведінка систем M/G/∞, M/G/m/0. Формула Севастьянова. Формула Поллачека-Хінчина.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

Основна

1. Мармоза А. Т. Теорія статистики (підручник) / А. Т. Мармоза – 2-ге вид. перероб. та доп. – Київ: «Центр учбової літератури», 2013. – 592 с
2. Барковський В.В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посібник. / В.В. Барковський, Н.В. Барковська, О.К. Лопатін. - Київ: Центр учбової літератури, 2010 - 422 с.
3. Дрогомирецька Х. Т. Теорія ймовірностей та математична статистика / Х. Т. Дрогомирецька, О. М. Рибицька, О. З. Слюсарчук, Н. В. Пабірівська, Л. В. Гошко, О. В. Веселовська, Д. В. Білонога. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012 - 396 с.

Додаткова

1. Ложковський А.Г. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях / А.Г. Ложковський. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 112 с
2. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник / А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.

НАВЧАЛЬНИЙ КОНТЕНТ

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1. Лекційні заняття

Лекція 1. Основні задачі математичної статистики. Основи теорії оцінювання невідомих параметрів.

Лекція 2. Оцінки математичного сподівання, дисперсії, функції розподілу та їх властивості.

Лекція 3. Оцінки максимальної правдоподібності. Метод найменших квадратів.

Лекція 4. Довірчі інтервали. Перевірка гіпотез.

Лекція 5. Марківська властивість. Ланцюги Маркова із скінченою або зліченою кількістю станів. Означення. Однорідні ланцюги Маркова. Скінченновимірні розподіли. Матриця перехідних ймовірностей. Матриця перехідних ймовірностей за n кроків. Граф ланцюга Маркова.

- Лекція 6.** Класифікація станів. Сполучність, істотність. Властивості. Період стану. Теорема про рівність періодів.
- Лекція 7.** Стаціонарний розподіл ланцюга Маркова. Гранична теорема для перехідних ймовірностей ланцюга (теорема Маркова). Процеси народження та загибелі, стаціонарний розподіл процесів народження та загибелі. Приклади. Ймовірність досягнення множини. Ймовірність досягнення однієї множини раніше ніж іншої. Математичне сподівання часу досягнення множини.
- Лекція 8.** Зворотність (рекурентність). Зв'язок між зворотністю та істотністю. Критерій зворотності. Теорема про кількість повернень. Теорема про зв'язок зворотності та істотності в ланцюгу Маркова зі скінченною кількістю станів. Гранична поведінка перехідних ймовірностей довільного ланцюга Маркова.
- Лекція 9.** Ергодичні властивості ланцюгів Маркова: середня кількість відвідування стану, зв'язок середнього часу повертання в стан та стаціонарного розподілу, середня кількість проходження шляху (i, j) .
- Лекція 10.** Елементи теорії півмарківських процесів. Означення. Вкладений ланцюг Маркова. Середня кількість відвідування стану. Середній час досягнення множини. Гранична поведінка ймовірності знаходження в стані.
- Лекція 11.** Застосування генератрис до дослідження ланцюгів Маркова. Розв'язок однорідних рекурентних рівнянь: характеристичний многочлен, різні корені, кратні корені. Розв'язок неоднорідних рекурентних рівнянь. Приклади. Знаходження генератрис для системи масового обслуговування з груповим надходженням вимог.
- Лекція 12.** Означення. Однорідні процеси. Перехідні ймовірності. Інтенсивність переходу. Інтенсивність для суми незалежних потоків. Рівняння Колмогорова, генератор процесу Маркова. Скінченновимірні розподіли.
- Лекція 13.** Стаціонарний розподіл. Граничні ймовірності станів. Процеси народження і загибелі.
- Лекція 14.** Моделі масового обслуговування, пов'язані з марківськими процесами. Основні характеристики якості роботи системи масового обслуговування. Процеси Маркова, стаціонарний режим.
- Лекція 15.** Системи, що описуються за допомогою процесів народження та загибелі $(M/M/1, M/M/\infty, M/M/n, M/M/n/m, M/M/n/m$ з втратами, $M/M/n/m/k)$. Задача обслуговування K машин одним майстром. Системи з різними видами пріоритетів. Розподіл часу знаходження в стані. Розподіл стрибка марківського процесу.
- Лекція 16.** Модельовання. Формула Літтла та її застосування. Ймовірність відмови. Середній час обслуговування. Розподіл Ерланга часу знаходження або обслуговування в системі, метод етапів. Математичне сподівання часу досягнення множини. Ймовірність досягнення множини. Ймовірність досягнення однієї множини раніше ніж другої.
- Лекція 17.** Потоки подій, процес відновлення, процес відновлення із затримкою. Середня кількість відновлень. Теорема відновлення та наслідки з неї.
- Лекція 18.** Рівняння відновлення та його застосування в теорії масового обслуговування: задача контролера, залишковий час обслуговування, минулий час обслуговування, поламки з простоями, загублені вимоги.
- Лекція 19.** Парадокс контролю. Простіший потік. Потоки Ерланга. Граничні теореми для сумарного потоку, потоки, що рідіють. Суміш та проріджування простішого потоку.
- Лекція 20.** Система $M/G/1$. Залишковий час. Вкладений ланцюг Маркова. Середня довжина черги.
- Лекція 21.** Розподіл кількості вимог в системі, часу чекання, періоду зайнятості. Пріоритетні системи обслуговування. Гранична поведінка систем $M/G/\infty, M/G/m/0$.
- Лекція 22.** Формула Севастьянова. Формула Поллачека-Хінчина.

5.2 Практичні заняття

- Практичне заняття 1.** Основні задачі математичної статистики. Основи теорії оцінювання невідомих параметрів.
- Практичне заняття 2.** Оцінки математичного сподівання, дисперсії, функції розподілу та їх властивості.
- Практичне заняття 3.** Оцінки максимальної правдоподібності. Метод найменших квадратів.
- Практичне заняття 4.** Довірчі інтервали. Перевірка гіпотез.

Практичне заняття 5. Ланцюги Маркова. Означення ланцюга Маркова. Матриця перехідних ймовірностей та її властивості. Скінченновимірні розподіли ланцюга Маркова. Класифікація станів.

Практичне заняття 6. Числові характеристики ланцюгів Маркова. Стаціонарний розподіл. Гранична поведінка перехідних ймовірностей для аперіодичного ланцюга Маркова. Ймовірність потрапляння в множину. Математичне сподівання часу до потрапляння в множину.

Практичне заняття 7. Ергодична теорема. Інваріантний розподіл. Гранична поведінка ймовірностей переходу.

Практичне заняття 8. Генератриса. Рекурентні рівняння.

Практичне заняття 9. Марковські процеси зі скінченною або зліченою кількістю станів. Ймовірності переходу. Інтенсивність переходу. Рівняння Колмогорова. Теорема про додавання інтенсивностей.

Практичне заняття 10. Стаціонарний розподіл процесу Маркова. Процеси народження та загибелі. Структура марковських процесів зі скінченною кількістю станів. Розподіл часу перебування в стані.

Практичне заняття 11. Розподіл стрибка при виході із стану. Вкладений ланцюг Маркова. Ймовірність досягнення множини. Середній час до досягнення множини або виходу з множини. Формула Літтла. Розподіл Ерланга.

Практичне заняття 12. Розподіл Ерланга. Основні параметри функціонування замкнених марковських систем. Система $M/G/1$. Формула Полячека-Хінчина.

Практичне заняття 13. Інтервал зайнятості. Рівняння для інтервалу зайнятості для системи $M/G/1$. Системи $M/G/1/n$. Зв'язок імовірності відмови та математичного сподівання інтервалу зайнятості. Рівняння для обчислення математичного сподівання інтервалу зайнятості.

6. Самостійна робота здобувачів вищої освіти

До самостійної роботи студентів включається підготовка до аудиторних занять шляхом опанування матеріалів лекцій, вивчення базової, додаткової літератури, виконання практичних завдань.

ПОЛІТИКА ТА КОНТРОЛЬ

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

7.1. Форми роботи

Лекції проводяться з використанням наочних засобів представлення матеріалу та з використанням методичних матеріалів, доступ до яких наявний у здобувачів вищої освіти. Студенти отримують всі матеріали через Google class, кампус чи telegram-групу.

Здобувачі вищої освіти залучаються до обговорення лекційного матеріалу та задають питання, щодо його сутності.

На практичних заняттях застосовуються форми індивідуальної та колективної роботи для реалізації завдань викладача на набуття навичок самостійної практичної роботи.

7.2. Правила відвідування занять

Заняття можуть проводитись в навчальних аудиторіях згідно розкладу. Також заняття можуть проводитись онлайн в синхронному режимі з використанням засобів відеозв'язку за умови однозначної ідентифікації здобувача вищої освіти. Проведення занять онлайн повинне бути передбачене відповідним наказом по КПІ ім. Ігоря Сікорського.

За наявності поважних причин здобувач вищої освіти повинен завчасно (за 1 день) повідомити викладача про причини можливого пропуску контрольного заходу.

Якщо завчасно повідомити не вдалось, здобувач вищої освіти протягом одного тижня має зв'язатись із викладачем для погодження форми і порядку усунення заборгованості.

Якщо аудиторне заняття випадає на неробочий день (святковий, пам'ятний тощо), то матеріал такого заняття частково переходить в категорію «Самостійна робота здобувачів вищої освіти», а частково додається до наступного заняття.

7.3. Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Заохочувальні бали за:

+5 балів – за активну роботу щонайменше на 5-ти лекціях і/або практичних заняттях (запитання, прохання уточнити аспекти лекційного матеріалу, конструктивне заперечення викладеної інформації та участь в дискусіях, розв’язування задач біля дошки);

Сума заохочувальних балів не може перевищувати 10 балів.

Штрафні бали:

-2 бали за відсутність відповіді на питання експрес-опитування.

8. Політика університету

8.1. Політика щодо академічної доброчесності

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

8.2. Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

ОЦІНЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ

Головна частина рейтингу студента формується через активну участь у практичних заняттях та отримання результатів модульної контрольної роботи.

9. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

9.1. Види контролю

<i>Вид контролю</i>	<i>Спосіб контролю</i>
<i>Поточний контроль</i>	Частина 1. Перевірка підготовки до практичних занять (експрес-опитування, тестування) Частина 2. Перевірка виконання практичних занять відповідно до розкладу занять, модульна контрольна робота
<i>Календарний контроль</i>	Проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу
<i>Семестровий контроль</i>	Залік

9.2. Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Головна частина рейтингу студента формується через активну участь у практичних заняттях та отримання результатів контрольних робіт.

1) Поточний контроль

Проводяться експрес-опитування за темою заняття. За правильну відповідь студент отримує +2 бали.

Оцінювання здобувача вищої освіти проводиться на практичних заняттях

<i>Контрольний захід</i>	<i>Ваговий бал</i>
Модульна контрольна робота. Ч.1 . . Ланцюги Маркова.	25
Модульна контрольна робота. Ч.2 Процеси Маркова зі скінченою кількістю станів і неперервним часом.	25
Всього за модульну контрольну роботу	50

Загальний рейтинговий бал дисципліни «Теорія масового обслуговування та математичної статистики» (максимум 100 балів):

$$R_{\Sigma} = R_{\text{залік}} + R_{\text{МКР1}} + R_{\text{МКР2}} + R_{+} + R_{-} + R_{\text{опит}}$$

де $R_{\text{залік}}$ – рейтинговий бал за залік (від 0 до 50 балів включно),
 $R_{\text{МКР1}}$ та $R_{\text{МКР2}}$ – рейтингові бали за 1-у і 2-гу частину модульної контрольної роботи,
 $R_{\text{опит}}$ – рейтингові бали за експрес опитування.
 R_{+} – заохочувальні бали,
 R_{-} – штрафні бали.

Для допуску до заліку поточний рейтинг повинен бути не менший за 30 балів.
Остаточний рейтинг не може перевищувати 100 балів.

2) Календарний контроль

Здійснюється двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу

Критерій	Перший	Другий
Термін	8-й тиждень	14-й тиждень
Умови отримання позитивного результату	якщо поточний рейтинговий бал складає не менше 50% від максимально можливого балу на момент календарного контролю	якщо поточний рейтинговий бал складає не менше 50% від максимально можливого балу на момент календарного контролю

3) Залік

Завдання на заліку складаються з двох частин: теоретичної (питання) та практичної (задачі). Якщо здобувач вищої освіти отримав на заліку 48 або більше рейтингових балів, його рейтингові бали, отримані протягом семестру, можуть не враховуватись, а загальний рейтинговий бал одержується подвоєнням залікового бала.

4) таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

1

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професор кафедри ІТТ НН ІТС д. ф.-м. н., с. н. с. **Арясова Ольга Вікторівна**, к.т.н., доцент **Новогрудська Рина Леонидівна**

Ухвалено: засіданням кафедри ІТТ (протокол №13 від 24.05.2024).

Погоджено:

Методичною комісією НН ІТС (протокол №4 від 13.06.2024).