



## МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізитивна навчальної дисципліни

|   |  |
|---|--|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Другий (магістерський) рівень вищої освіти</i>  |
| Галузь знань                                | <i>17 Електроніка та телекомунікації</i>   |
| Спеціальність                               | <i>172 Телекомунікації та радіотехніка</i>   |
| Освітньо-наукова програма                   | <i>Інженерія інноваційних інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем</i>   |
| Статус дисципліни                           | <i>Обов'язкова</i>   |
| Форма навчання                              | <i>очна(денна)</i>   |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>2- й курс, осінній семестр</i>  |
| Обсяг дисципліни                            | <i>4 кредити – 120 годин</i>   |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>екзамен</i>   |
| Розклад занять                              | <i>3 години на тиждень</i>   |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>  |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>Лектор: доктор технічних наук, професор Лисенко Олександр Іванович, 096-225-28-20, Lysenko.a.i.1952@gmail.com<br/>Практичні : доктор технічних наук, професор Лисенко Олександр Іванович, 096-225-28-20, Lysenko.a.i.1952@gmail.com</i> |
| Розміщення курсу                            | <i><a href="https://classroom.google.com/c/NTM3NDM1MzY3MjYw">https://classroom.google.com/c/NTM3NDM1MzY3MjYw</a>, код курсу uwwatbq за запрошенням викладача</i>   |

#### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна охоплює основні розділи математичного програмування (статичні системи) та теорії оптимального керування динамічними системами та процесами і дає сучасні підходи до застосування теоретичних положень для розв'язання практичних задач в техніці телекомунікацій та радіотехніки.

Навчальна дисципліна базується на природничо-наукових уявленнях про існуючий всесвіт.

**Предмет навчальної дисципліни:** оптимізаційні математичні моделі явищ та процесів, які відбуваються в телекомунікаційних системах (мережах) та радіотехніці і впливають на ефективність функціонування засобів телекомунікацій та радіотехніки.

Дисципліна “Математичні методи оптимізації” надає глибинні прикладні математичні знання і тим самим забезпечує достатній рівень математичної підготовки для написання магістерської дисертації в галузі знань електроніка та телекомунікації за спеціальністю телекомунікації та радіотехніка.

##### 1. Мета та завдання навчальної дисципліни

###### 1.1. Мета навчальної дисципліни

Отримання компетентностей (інтегральної, загальних (ЗК11, ЗК12, ЗК13), фахових (ФК16, ФК17, ФК18)) та програмних результатів навчання (ПРН16, ПРН19, ПРН20) по основам побудови, ідентифікації і практичного використання оптимізаційних математичних моделей детермінованих і

випадкових явищ, які мають місце в інформаційно-телекомунікаційних системах (мережах) та радіотехніці в цілому та в окремих апаратних засобах і технологічних процесах.

## 1.2. Основні завдання навчальної дисципліни

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми здобувачі після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

### Програмні компетентності

#### Інтегральна компетентність

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми з інженерії та програмування інфокомунікацій, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог. **завдяки засвоєнню** термінології, визначень, основних понять, символічного позначення основних операцій та **розуміння** їх змісту, що використовуються в детермінованих умовах та в умовах невизначеності; **розумінню** експериментальних основ, що пояснюють фізичний та філософський зміст випадкових явищ, відмінності стохастичних процесів від детермінованих; постановок задач математичного програмування та задач оптимізації динамічних систем і процесів, що найбільш поширені в телекомунікаційній техніці та радіотехніці; ознак та характеристики випадкових процесів: вінеровського, пуассонівського, марковського; стаціонарних та ергодичних; дискретних та неперервних, способів їх ідентифікації та імітації.

#### Загальні компетентності (ЗК)

**ЗК 11** (Здатність виявляти наукову сутність проблем у професійній сфері, знаходити адекватні шляхи щодо їх розв'язання), **ЗК 12** (Здатність до самостійного освоєння нових методів дослідження, зміни наукового та науково-виробничого профілю своєї діяльності), **ЗК13** (Здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу, синтезу та інших загальнонаукових методів пізнання) **завдяки засвоєнню** найбільш поширених в телекомунікаційній техніці та радіотехніці постановок задач математичного програмування; ознак та характеристики випадкових процесів: вінеровського, пуассонівського, марковського; стаціонарних та ергодичних; дискретних та неперервних, способів їх ідентифікації та імітації; критеріїв та методик перевірки статистичних гіпотез; математичних моделей критеріїв та методів технічної та економічної оптимізації систем масового обслуговування; критеріїв та методів оцінки і оптимізації надійності засобів телекомунікацій і телекомунікаційних систем.

#### Фахові компетентності спеціальності (ФК)

**ФК 16** (Здатність обирати оптимальні методи досліджень, модифікувати та адаптувати існуючі, розробляти нові методи досліджень відповідно до існуючих технічних засобів та формувати методику обробки результатів досліджень.), **ФК 17** (Здатність демонструвати і використовувати знання сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій та інструментів інженерних і наукових досліджень, розрахунків, обробки та аналізу даних, моделювання та оптимізації.), **ФК 18** (Здатність використовувати технічне обладнання і устаткування, системи прийняття рішень, програмні засоби та інструменти для проведення наукового експерименту та обробки результатів експериментальних досліджень.) **завдяки засвоєнню** класичних математичних методів аналізу та синтезу раціональних, квазіоптимальних та оптимальних **телекомунікаційних та радіотехнічних систем**; інформаційних технологій розв'язання класичних задач лінійного, нелінійного, дискретного (у тому числі і цілочисельного), стохастичного, динамічного програмування, моделювання операцій методом статистичних випробувань, обґрунтування рішень методами теорії ігор, мережевого планування, векторної оптимізації; прийомів формалізації задач структурно-функціонального аналізу, загальної стратегії їх розв'язання та системної оптимізації **складних конструктивних елементів телекомунікаційних та радіотехнічних систем та пристроїв** на основі застосування чисельних методів в задачах нелінійного програмування: метод нульового порядку; метод прямого пошуку (метод Хука-Дживса); метод деформованого багатогранника (метод Нелдера-Міда); чисельних методи безумовної оптимізації першого і другого порядків: методу найшвидшого спуску; методу спряжених градієнтів; алгоритмів на базі методу Ньютона; методів розв'язання задач нелінійного програмування за наявності обмежень: методу проекції градієнта; комплексного методу Бокса; методів штрафних функцій; динамічного програмування.

#### Програмні результати навчання

**ПРН 16** (Застосовувати методи проектування та моделювання для розроблення і реалізації проектів та інженерних рішень за заданими вимогам), **ПРН 19** (Координувати роботу колективів виконавців в галузі наукових досліджень, проектування, розробки, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування телекомунікаційних та радіотехнічних пристроїв та систем), **ПРН 20** (Вибирати оптимальні методи досліджень, модифікувати, адаптувати та розробляти нові методи та формувати методику

обробки результатів), які конкретно полягають у запам'ятовуванні та розумінні основних розділів стохастичного лінійного та нелінійного програмування при статичних та динамічних обмеженнях (методу стохастичних апроксимацій, багатовимірною регресійного аналізу, дисперсійного аналізу, факторного аналізу, методів ідентифікації структури та параметрів стохастичних різницевої рівнянь, основ теорії розпізнавання і перевірки гіпотез; основ методів статистичного (імітаційного) моделювання), методів чисельного пошуку екстремумів опуклих функцій на опуклих множинах; методів динамічного, параметричного та цілочисельного програмування; термінології, основних понять, символічного позначення основних операцій та їх змісту, що використовуються в теорії математичного програмування, теорії прийняття рішень, теорії ігор, теорії управління запасами і при імітаційному моделюванні; експериментальних основ, фізичного та філософського змісту випадкових явищ, відмінності стохастичних процесів від детермінованих, особливості їх відображення у математичних моделях в обсязі достатнім для засвоєння основ функціонування, оцінки ефективності та оптимізації **сучасних та перспективних технологій та засобів телекомунікацій, теорії і практики побудови телекомунікаційних систем та мереж**, а також у конкретних навичках та особистому досліді здобувача стосовно побудови математичних моделей засобів телекомунікацій і телекомунікаційних систем та мереж, і технологічних процесів, що в них відбуваються, в термінах теорії математичних методів параметричної та структурної оптимізації і оптимального керування в інфотелекомунікаціях та радіотехніці, ідентифікації структури і параметрів цих моделей; обробки результатів статистичних спостережень випадкових явищ і процесів в телекомунікаційних системах (оцінювати параметри випадкових величин і процесів, перевіряти статистичні гіпотези); інтерпретації результатів статистичної обробки експериментальних спостережень, аналітичних досліджень та комп'ютерного імітаційного моделювання роботи засобів телекомунікацій, телекомунікаційних систем та радіотехніки; виконанні математичної постановки задач оптимізації та вдосконалення технічних засобів телекомунікацій, телекомунікаційних систем та радіотехніки в термінах (форматі) системи комп'ютерної математики MATLAB + Simulink.

## 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньо-науковою програмою)

Для успішного засвоєння дисципліни здобувач повинен володіти знаннями з математичного аналізу, аналітичної геометрії, теорії матриць, диференціальних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики.

На результатах вивчення даної дисципліни базуються виконання магістерської дисертації та науково-дослідна практика, а також навчальні дисципліни для здобуття універсальних компетентностей дослідника (вибіркові).

На результатах вивчення даної дисципліни базуються математичні постановки задач та методи їх розв'язання в галузі знань електроніка та телекомунікації за спеціальністю телекомунікації та радіотехніка, що досліджуються у дисертаціях здобувачів.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

| Назва розділів і тем  | Кількість годин |              |           |     |
|---|-----------------|--------------|-----------|-----|
|   | Всього          | у тому числі |           |     |
|   |                 | Лекції       | Практичні | СРС |
| <b>Вступ до дисципліни “Математичні методи оптимізації”</b>   |                 |              |           |     |
| <b>Розділ 1. Математичне програмування: методи оптимізації статичних систем.</b>  |                 |              |           |     |
| <b>Тема 1. Загальна методологія математичного програмування та дослідження операцій в телекомунікаціях</b>                              | 3               | 2            | -         | 1   |
| <b>Тема 2. Структура методики дослідження операцій в телекомунікаціях. Типові задачі математичного програмування в телекомунікаціях</b> | 7               | 4            | 2         | 1   |
| <b>Тема 3. Задачі лінійного програмування</b>   | 4               | 2            | -         | 2   |
| <b>Тема 4. Транспортна задача</b>   | 6               | 2            | 2         | 2   |

|   |            |           |           |           |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Тема 5. Цілочисельні задачі лінійної оптимізації</i>   | 4          | 2         | -         | 2         |
| <i>Тема 6. Нелінійне програмування</i>  | 6          | 2         | 2         | 2         |
| <i>Тема 7. Задачі опуклого та квадратичного програмування</i>   | 4          | 2         | -         | 2         |
| <i>Тема 8. Огляд основних підходів до побудови чисельних методів розв'язання задач нелінійного програмування</i>                                    | 4          | 2         | -         | 2         |
| <i>Модульна контрольна робота</i>   | 3          | -         | 1         | 2         |
| <i>Розділ 2. Математичні методи оптимізації динамічних систем та процесів.<br/>Тема 9. Варіаційне обчислення та неперервне оптимальне керування</i> | 4          | 2         | -         | 2         |
| <i>Тема 10. Принцип максимуму та теорія Гамільтона-Якобі</i>  | 8          | 4         | 2         | 2         |
| <i>Тема 11. Приклади оптимального керування</i>   | 6          | 2         | 2         | 2         |
| <i>Тема 12. Дискретне варіаційне обчислення та дискретний принцип максимуму</i>   | 4          | 2         | -         | 2         |
| <i>Тема 13. Системний підхід</i>  | 5          | 2         | 1         | 2         |
| <i>Тема 14. Оптимальне оцінювання стану</i>   | 6          | 2         | 2         | 2         |
| <i>Тема 15. Сумісне оцінювання та керування</i>   | 6          | 2         | 2         | 2         |
| <i>Тема 16. Обчислювальні методи в задачах оптимального керування динамічними системами</i>   | 5          | 2         | 1         | 2         |
| <i>Модульна контрольна робота</i>   | 3          | -         | 1         | 2         |
| <i>Домашня контрольна робота</i>  | 2          | -         | -         | 2         |
| Екзамен   | 30         | -         | -         | 30        |
| <b>Всього годин</b>   | <b>120</b> | <b>36</b> | <b>18</b> | <b>66</b> |

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Основна література:

1. Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Алексеєва І. В. «Математичні методи моделювання та оптимізації. Частина 1. Математичне програмування та дослідження операцій: підручник» – К.: НАУ, 2017. – 212 с. ISBN 978-966-932-063-6.
2. Лисенко О.І., Алексеєва І.В. Дослідження операцій. Конспект лекцій. — К: НТУУ «КПІ», 2016. – 196 с.
3. Льченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – Київ: Наукова думка, 2017. – 730 с
4. Досягнення в телекомунікаціях 2019 / за наук. ред. М.Ю.Льченка, С.О.Кравчука: монографія. - Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019.- 336 с. Рекомендовано до друку ВР КПІ ім.І.Сікорського (прот.№10 від 04.11.2019 р.) ISBN 978-617-7734-12-2
5. Ларіонов Ю.І., Левикін В.М., Хажмурадов М.А. Дослідження операцій в інформаційних системах.- Харків.: Компанія СМІТ, 2005.-364 с.
6. Глоба Л.С., Дяденко О.М., Пилипенко А.Ю., Скулиш М.А. Математичні методи аналізу та керування телекомунікаційними мережами. К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. – 234 с.

##### Допоміжна література:

7. Глоба Л.С. Розробка інформаційних ресурсів та систем. Підручник у 2 т. – К.: НТУУ „КПІ”, 2014. Т.1. - 376 с.
8. Глоба Л.С. Розробка інформаційних ресурсів та систем. Підручник у 2 т. – К.: НТУУ „КПІ”, 2015. Т.2. - 376 с.
9. Xin-She Yang. Optimization Techniques and Applications with Examples. Hoboken, New Jersey: JohnWiley & Sons, 2018. – 364 p.

10. Probability and Statistics. The Science of Uncertainty. Second Edition. Michael J. Evans and Jeffrey S. Rosenthal. University of Toronto. - 2009.-750 p.
11. Probability and Stochastic. Processes with Applications  
Oliver Knill. Edition : 2009. Published by Narinder Kumar Lijhara for Overseas Press India Private Limited, 7/28, Ansari Road, Daryaganj, New Delhi-110002 and Printed in India. – 382 p.
12. Probability Theory: STAT310/MATH230. March 13, 2020. Amir Dembo. E-mail address: [amir@math.stanford.edu](mailto:amir@math.stanford.edu). Department of Mathematics, Stanford University, Stanford, CA 94305. – 400 p.
13. **Інформаційні ресурси**  
Лисенко О.І. Дистанційний курс. <https://classroom.google.com/c/NTM3NDM1MzY3MjYw>, Код доступу: ywwatbq.  
HANDONG UNITWIN FELLOWSHIP (Republic of Korea). Course [S084-Ukraine] Mathematical programming and operations research in telecommunications, 14 Lectures. Fall 2017.  
<https://www.hufocw.org/Course/263>  
HANDONG UNITWIN FELLOWSHIP (Republic of Korea). Course "Digital automatic control systems for information communications engineers", 14 Lectures. Spring 2020.  
<https://www.hufocw.org/Course/197>

## 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

### Очна/дистанційна форма

#### Лекційні заняття

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)  |
|-------|--|
| 1     | <b>Вступ до дисципліни “ Математичні методи оптимізації”</b> . Мета, завдання і структура дисципліни.<br><b>Загальна методологія оптимального керування (дослідження операцій)</b><br>Основні поняття та визначення. Ефективність операційМатематичні моделі операцій. Загальні відомості про математичні моделі операцій. Детерміновані аналітичні моделі операцій. Математичні моделі операцій із врахуванням невизначеності. Математичні моделі операцій із декількома показниками ефективності<br><i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13] |
| 2     | <b>Структура методики оптимального керування статичними системами (дослідження операцій)</b><br>Склад методики дослідження операцій. Типові класи задач дослідження операцій. Загальна задача математичного програмування. Класифікація задач математичного програмування . Теорема про достатні умови глобального максимуму.<br><i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]  |
| 3     | <b>Типові математичні моделі систем статичного оптимального керування</b><br>Приклади типових задач математичного програмування<br>Задача про розкрій. Задача виробничого планування або задача оптимального використання ресурсів виробництва. Задачі про суміші або задача про дієту. Задача про призначення. Задача оптимального розміщення. Задача про розподіл ресурсів. Задача «про перевезення».<br><a href="#">Задача про виробництво «складного обладнання»</a><br><i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]                           |
| 4     | <b>Лінійні статичні системи оптимального керування (лінійне програмування)</b><br>Поняття про лінійне програмування. Форми запису задачі лінійного програмування. Графічний метод розв’язання задач лінійного програмування. Графічний метод розв’язання задач лінійного програмування. Розв’язання задачі лінійного програмування із використанням системи комп’ютерної математики Matlab<br><i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]   |
| 5     | <b>Транспортна задача лінійного програмування</b><br>Постановка транспортної задачі. Табличний метод пошуку опорного плану (метод "північно-західного кута"). Метод пошуку оптимального плану шляхом циклічного  |

|    |  |
|----|--|
|    | <p>перерахунку (метод циклічного перерахунку або розподільчий метод). Метод потенціалів розв'язання транспортної задачі. Обґрунтування методу потенціалів. Побудова потенціального плану. Приклади розв'язання транспортної задачі методом потенціалів. Деякі окремі випадки транспортних задач. Транспортні задачі із неправильним балансом. Транспортна задача із надмірністю запасів. Транспортна задача із надмірністю заявок. Розв'язок транспортної задачі за критерієм часу.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]</p>  |
| 6  | <p><b>Цілочисельні задачі лінійної оптимізації</b></p> <p>Постановка цілочисельних задач лінійної оптимізації. Метод Гоморі розв'язання цілочисельних задач лінійного програмування. Метод гілок та границь розв'язання цілочисельної задачі лінійного програмування.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]</p>  |
| 7  | <p><b>Нелінійне програмування</b></p> <p>Класичні умови екстремуму задачі нелінійного програмування. Метод прямої підстановки. Метод множників Лагранжа.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]</p>   |
| 8  | <p><b>Задачі опуклого та квадратичного програмування</b></p> <p>Умови та теорема Куна-Таккера. Квадратичне програмування.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]</p>  |
| 9  | <p><b>Огляд основних підходів до побудови чисельних методів розв'язання задач нелінійного програмування</b></p> <p>Модельно-тестовий приклад. Метод сканування (метод повного перебору). Метод Гаусса-Зейделя (метод по координатного спуску). Класичний метод мінімізації функції однієї змінної при його застосуванні в методі Гаусса-Зейделя. Метод екстраполяційного пошуку. Метод градієнту. Метод найшвидшого спуску. Метод випадкового пошуку. Застосування системи комп'ютерної математики Matlab для розв'язку задач квадратичного та нелінійного програмування. Квадратичне програмування: функція <b>quadprog</b>. Формат постановки задачі нелінійного програмування в Matlab.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]</p> |
| 10 | <p><b>Варіаційне обчислення та неперервне оптимальне керування.</b></p> <p>Динамічна оптимізація при відсутності обмежень. Умова трансверсальності. Достатні умови існування (слабкого) екстремуму. Задача із змінним часом досягнення. Рівняння Ейлера-Лагранжа та умови трансверсальності – векторна форма. Варіаційний метод. Динамічна оптимізація із обмеженнями у формі рівностей – множники Лагранжа.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13].</p>   |
| 11 | <p><b>Принцип максимуму.</b> Варіаційний метод для функцій із нефіксованим часом досягнення. Умови Веерштрасса-Ердмана. Задача Больца – відсутність обмежень у формі нерівностей: задача неперервного оптимального керування – фіксовані моменти початку і моменти досягнення - відсутність обмежень у формі нерівностей.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]</p>  |
| 12 | <p><b>Приклади задачі Больца та теорія Гамільтона-Якобі.</b> Задача неперервного оптимального керування – фіксовані моменти початку і невизначені моменти досягнення - відсутність обмежень у формі нерівностей. Задача Больца із обмеженнями у формі нерівностей: принцип максимуму при обмеженнях на керування у формі нерівностей; принцип максимуму при обмеженнях на вектор стану у формі нерівностей; принцип максимуму при обмеженнях на керування та вектор стану у формі нерівностей. Рівняння Гамільтона-Якобі та неперервне динамічне програмування.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 5, 9, 10, 11, 12, 13].</p>  |
| 13 | <p><b>Приклади оптимального керування.</b> Лінійний регулятор. Лінійна слідкуюча система. «Банг банг» – керування в задачах про мінімальний час. Сингулярні розв'язки.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 5, 6, 7, 8].</p>   |
| 14 | <p><b>Дискретне варіаційне обчислення та дискретний принцип максимуму.</b> Дискретні рівняння Ейлера-Лагранжа. Дискретний принцип максимуму. Порівняння дискретного та неперервного принципів максимуму. Дискретне оптимальне керування та математичне програмування.<br/> <i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 5, 6, 7, 8, 13].</p>  |

|    |   |
|----|---|
| 15 | <b>Системний підхід.</b> Спостерігаємість в лінійних динамічних системах: спостерігаємість в дискретних системах із змінними параметрами; спостерігаємість в неперервних за часом системах. Керованість у лінійних системах. Чуттєвість у оптимальних системах керування: чуттєвість до зміни параметрів; чуттєвість при оптимальному керуванні. Стійкість: стійкість у малому; стійкість у великому; стійкість лінійних систем.<br><i>Рекомендована література:</i> [1, 2, 5, 6, 7, 8, 13].  |
| 16 | <b>Оптимальне оцінювання стану.</b> Простір стану систем із випадковою вхідною дією та лінійна фільтрація із мінімальною дисперсією: основні властивості фільтру із мінімальною дисперсією помилки. Дослідження фільтру Калмана при неперервному часі: алгоритм аналізу помилок. Дослідження фільтру Калмана при дискретному часі: інші підходи до синтезу оптимального лінійного фільтру в дискретному часі. Відновлення змінних стану системи за результатом спостереження вихідних сигналів: відновлення усіх змінних вектору стану; відновлення вектору стану за допомогою вимірювачів низького порядку.<br><i>Рекомендована література:</i> [1, 5, 6, 7, 8, 13]. |
| 17 | <b>Сумісне оцінювання та керування.</b> Постановка задачі. Загальне рішення. Дискретна лінійна квадратична гауссова - задача (дискретна ЛКГ – задача). Неперервна лінійна квадратична гауссова задача (неперервна ЛКГ - задача). Неперервна ЛКГ – задача для сталого стану. Узагальнення. Аналіз чуттєвості алгоритмів сумісного оцінювання та керування.<br><i>Рекомендована література:</i> [1, 5, 6, 7, 8, 13].  |
| 18 | <b>Обчислювальні методи в задачах оптимального керування.</b><br>Дискретне динамічне програмування. Градієнтні методи: градієнтні методи у однокрокових процедурах прийняття рішення; градієнтні методи у задачах із неперервним часом прийняття рішення; градієнт у функціональному просторі; градієнтні методи у багатокрокових процедурах прийняття рішення. Оптимізація на основі варіацій другого порядку. Квазілінеарізація: неперервний час; дискретний час. Розв’язання двоточкової крайової задачі оптимального керування методом квазілінеарізації.<br><i>Рекомендована література:</i> [1, 5, 6, 7, 8, 13].  |
| 19 | Екзамен   |

## Практичні заняття

| № з/п | Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)   |
|-------|---|
| 1     | <b>Застосування системи комп’ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних задачах обчислення екстремумів та одноетапних процедурах прийняття рішення.</b><br>Задача про розкрій. Задача виробничого планування або задача оптимального використання ресурсів виробництва. Задачі про суміші або задача про дієту. Задача про призначення. Задача оптимального розміщення. Задача про розподіл ресурсів. Задача «про перевезення».<br><a href="#">Задача про виробництво «складного обладнання»</a><br><i>Завдання на СРС:</i> [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13]. |
| 22    | <b>Застосування системи комп’ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних транспортних задачах.</b><br>Транспортні задачі із неправильним балансом. Транспортна задача із надмірністю запасів. Транспортна задача із надмірністю заявок. Розв’язок транспортної задачі за критерієм часу.<br><i>Завдання на СРС:</i> [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].  |
| 33    | <b>Застосування системи комп’ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних задачах нелінійного програмування.</b><br>Цілочисельні задачі оптимізації. Метод гілок та границь, метод Гоморі розв’язання цілочисельної задачі. Квадратичне та нелінійне програмування.<br><i>Завдання на СРС:</i> [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13]   |
| 44    | <i>Модульна контрольна робота.</i><br><i>Завдання для СРС:</i> [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].  |

|     |   |
|-----|---|
| 5   | <p><b>Застосування системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних задачах Больца – відсутність обмежень у формі нерівностей:</b> задача неперервного оптимального керування – фіксовані моменти початку і моменти досягнення - відсутність обмежень у формі нерівностей; задача неперервного оптимального керування – фіксовані моменти початку і невизначені моменти досягнення - відсутність обмежень у формі нерівностей. Задача Больца із обмеженнями у формі нерівностей: принцип максимуму при обмеженнях на керування у формі нерівностей; принцип максимуму при обмеженнях на вектор стану у формі нерівностей; принцип максимуму при обмеженнях на керування та вектор стану у формі нерівностей. Рівняння Гамільтона-Якобі та неперервне динамічне програмування.</p> <p><i>Завдання на СРС: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].</i></p> |
| 6   | <p><b>Застосування системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних задачах оптимального керування.</b> Лінійний регулятор. Лінійна слідкуюча система. «Банг банг» – керування в задачах про мінімальний час. Сингулярні розв'язки.</p> <p><i>Завдання на СРС: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].</i></p>   |
| 7   | <p><b>Застосування системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних задачах системного підходу.</b> Спостерігаємість в лінійних динамічних системах: спостерігаємість в дискретних системах із змінними параметрами; спостерігаємість в неперервних за часом системах. Керованість у лінійних системах. Чуттєвість у оптимальних системах керування: чуттєвість до зміни параметрів; чуттєвість при оптимальному керуванні. Стійкість: стійкість у малому; стійкість у великому; стійкість лінійних систем.</p> <p><i>Завдання на СРС: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].</i></p>   |
| 8   | <p><b>Застосування системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних задачах оптимального оцінювання стану.</b> Простір стану систем із випадковою вхідною дією та лінійна фільтрація із мінімальною дисперсією: основні властивості фільтру із мінімальною дисперсією помилки. Дослідження фільтру Калмана при неперервному часі: алгоритм аналізу помилок. Дослідження фільтру Калмана при дискретному часі: інші підходи до синтезу оптимального лінійного фільтру в дискретному часі. Відновлення змінних стану системи за результатом спостереження вихідних сигналів: відновлення усіх змінних вектору стану; відновлення вектору стану за допомогою вимірювачів низького порядку.</p> <p><i>Завдання на СРС: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].</i></p>   |
| 9   | <p><b>Застосування системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink в модельних задачах сумісного оцінювання та керування.</b> Постановка задачі. Загальне рішення. Дискретна лінійна квадратична гауссова - задача (дискретна ЛКГ – задача). Неперервна лінійна квадратична гауссова задача (неперервна ЛКГ - задача). Неперервна ЛКГ – задача для сталого стану. Узагальнення. Аналіз чуттєвості алгоритмів сумісного оцінювання та керування.</p> <p><i>Завдання на СРС: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].</i></p>  |
| 10  | <p><b>Застосування системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink для порівняльного аналізу обчислювальних методів, що використовуються в задачах оптимального керування.</b> Дискретне динамічне програмування. Градієнтні методи: градієнтні методи у однокрокових процедурах прийняття рішення; градієнтні методи у задачах із неперервним часом прийняття рішення; градієнт у функціональному просторі; градієнтні методи у багатокрокових процедурах прийняття рішення. Оптимізація нга основі варіацій другого порядку. Квазілінеарізація: неперервний час; дискретний час. Розв'язання двоточнової красвої задачі оптимального керування методом квазілінеарізації.</p> <p><i>Завдання на СРС: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].</i></p>  |
| 111 | <p><i>Модульна контрольна робота.</i></p> <p><i>Завдання для СРС: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13].</i></p>   |

Методика опанування навчальної дисципліни “Математичні методи оптимізації” полягає у набутті практичних навичок застосування положень математичного програмування і теорії оптимального керування динамічними системами та процесами для розв'язання конкретних технічних задач, що виникають при розробці та експлуатації телекомунікаційного обладнання та інформаційно-телекомунікаційних та радіотехнічних систем, набуття стійких вмінь прийняття науково обґрунтованих, усвідомлених, підтверджених розрахунками рішень.



## 6. Самостійна робота

Для активізації сприйняття математичних та прикладних ідей дисципліни “Математичні методи оптимізації” здобувач повинен повторити матеріал, який було викладено в курсі математичного аналізу, лінійної алгебри, теорії ймовірностей та математичної статистики.

Для підвищення швидкості та надійності засвоєння базових положень теорії потрібно приділити більше уваги при СРС розв’язанню задач .

Для осмисленого і живого сприйняття дисципліни “Математичні методи оптимізації” рекомендується проводити комп’ютерні імітаційні експерименти для перевірки теоретичних положень, викладених на лекціях, а також використовувати методи що вивчаються в дисципліні “Математичні методи оптимізації” при написанні дисертаційної роботи з метою побудови математичних моделей явищ, що вивчаються для подальшої оптимізації управління цими явищами.

Контроль якості опанування здобувачем дисципліни здійснюється шляхом опитування на практичних заняттях, при перевірці МКР , ДКР, а також при проведенні екзамену.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Матеріал кредитного модуля “Математичні методи оптимізації” вивчається на другому курсі у весняному семестрі на лекціях та практичних заняттях. Теоретичний матеріал викладається та в подальшому використовується для розв’язання вправ і задач на базі підручників та навчальних посібників, рекомендованих Вченою Радою КПІ ім. Ігоря Сікорського. Приклади застосування математичного програмування(детерміноване і стохастичне, лінійне і нелінійне, статичне і динамічне), теорії ігор, мережного планування, векторної оптимізації, структурно-функціонального аналізу складних ієрархічних систем для розв’язання практичних задач в техніці телекомунікацій наводяться із навчального посібника , рекомендованого Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського та науково-технічного видання .

Контроль якості опанування здобувачами дисципліни здійснюється шляхом опитування на практичних заняттях ,при виконанні МКР, ДКР а також при проведенні екзамену. Оцінка успішності здобувачів по кредитному модулі визначається на основі рейтингової системи .

#### Академічна доброчесність

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>

#### 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>

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

1. Рейтинг здобувача з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що здобувач отримує за:

- виконання контрольних робіт (6 експрес-контролів);
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання домашньої контрольної роботи (ДКР).

#### 2. Критерії нарахування балів.

2.1. Експрес-контрольні роботи оцінюються із 5 балів кожна:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 5 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) або повна відповідь з незначними неточностями – 4 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 бали;

- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам до «задовільно» – 0 балів.

### 2.2. Модульна контрольна робота оцінюється із 15 балів:

- «відмінно» – правильно і повністю виконані всі завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 13-15 балів;
- «добре» – частково виконані завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 10-12 балів;
- «задовільно» – завдання контрольної роботи виконані із помилками (не менше 60% потрібної інформації) – 8-9 балів;
- «незадовільно» – завдання не виконані або містять грубі помилки, МКР не зараховано – 0 балів.

### 2.3. Домашня контрольна робота оцінюється із 15 балів:

- «відмінно» – правильно і повністю виконані всі завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 13-15 балів;
- «добре» – частково виконані завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 10-12 балів;
- «задовільно» – завдання контрольної роботи виконані із помилками (не менше 60% потрібної інформації) – 8-9 балів;
- «незадовільно» – завдання не виконані або містять грубі помилки, МКР не зараховано – 0 балів.

3. Календарна проміжна атестація здобувачів проводиться за значенням поточного рейтингу здобувача на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50 % від максимально можливого на час атестації, здобувач вважається атестованим. Умовою позитивної першої атестації є отримання не менше 8 балів. Умовою позитивної другої атестації – отримання не менше 22 балів.

4. Умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше 30 балів.

5. На екзамені здобувачі відповідають на питання білету. Кожен білет містить чотири запитання (завдання). Кожне запитання (завдання) оцінюється у 10 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 9-10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 7-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 6 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

6. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

| Бали  | Оцінка       |
|---|--------------|
| 100...95  | Відмінно     |
| 94...85   | Дуже добре   |
| 84...75   | Добре        |
| 74...65   | Задовільно   |
| 64...60   | Достатньо    |
| Менше 60  | Незадовільно |
| не зарахована розрахунково-графічна робота або стартовий рейтинг менше 30 балів | Не допущено  |

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

– положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;  
 – попередня рейтингова оцінка  $R$  з кредитного модуля (дисципліни) доводиться до студентів на останньому занятті;

календарна атестація студентів з дисципліни проводиться викладачами за значенням поточного рейтингу студента на час атестації  $t$ . Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого ( $R_t$ ) на час атестації  $RD_t \geq 0,5R$ , студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку – в атестаційній відомості виставляється "незараховано".

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено : д.т.н., професор Лисенко Олександр Іванович**

**Ухвалено** кафедрою телекомунікацій (протокол № 11 від 25.05.2023 р.)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІТС (протокол № 4 від 08.06.2023 р.)