

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА КІБЕРНЕТИКИ

Кафедра теоретичної кібернетики



Кашпур О.Ф.

« 26 » _____ 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕОРІЯ КЕРУВАННЯ ТА ОСНОВИ РОБОТОТЕХНІКИ

для студентів

галузь знань	12 – Інформаційні технології <i>(шифр і назва)</i>
спеціальність	122 – Комп'ютерні науки <i>(шифр і назва спеціальності)</i>
освітній рівень	бакалавр <i>(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)</i>
освітня програма	Інформатика <i>(назва освітньої програми)</i>
вид дисципліни	обов'язкова

Форма навчання	заочна
Навчальний рік	2020/2021
Семестр	8
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Пролонговано: на 2021/2022 н.р. (підпис, ПІБ, дата) «07» 05 2021 р.

на 20__/20__ н.р. (підпис, ПІБ, дата) «__»__ 20__ р.

КИЇВ – 2020

Розробник: **Крак Юрій Васильович**, доктор. фіз.-мат. наук, професор,
завідувач кафедри теоретичної кібернетики

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри теоретичної кібернетики

Ю.В. Крак (Крак Ю.В.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 1 від « 27 » серпня 2020 р.

Схвалено Гарантом освітньої-професійної програми «Інформатика»

Л.Л. Омельчук (Омельчук Л.Л.) « 28 » серпня 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету комп'ютерних наук та кібернетики

Протокол від « 28 » серпня 2020 року № 1

Голова науково-методичної комісії Л.Л. Омельчук (Омельчук Л.Л.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 28 » серпня 2020 року

1. Мета дисципліни – вивчення і засвоєння основних положень теорії керування, принципів і методів вирішення проблем, пов'язаних з керуванням складними робототехнічними системами та оволодіння практичними навичками розв'язування задач керування та робототехніки.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):

1. *Знати* дискретну математику, математичний аналіз, диференціальні рівняння, алгебру, методи оптимізації, теорію ймовірностей в об'ємі перших двох навчальних років освітнього рівня бакалавр.
2. *Вміти* застосовувати отримані знання з базових математичних дисциплін до розв'язання задач теорії керування.
3. *Володіти елементарними навичками* роботи з матрицями, знаходження похідних та інтегралів, вирішення нелінійних рівнянь, знаходження оптимальних розв'язків.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна складається з наступних розділів. Постановка задач оптимального керування, приклади задач оптимального керування. Керованість, спостережуваність та ідентифікація систем керування. Стійкість руху та аналітичне конструювання регуляторів систем керування. Методи варіаційного числення для вирішення задач оптимального керування. Метод динамічного програмування. Принцип максимуму Понтрягіна. Побудова математичних моделей, планування траєкторій, керування маніпуляційними системами.

Основним завданням є надання знань з основ керування складними системами, розвиток практичних навичок з розв'язування навчальних і практичних задач.

Викладається у 8-му семестрі в **обсязі – 120 год. (4 кредитів ECTS)** зокрема: *лекції* – 7 год., *практичні* – 5 год., *консультації* – 1 год., *самостійна робота* – 107 год. Передбачено 2 контрольні роботи та іспит.

4. Завдання (навчальні цілі):

Набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень у комп'ютерних науках. Зокрема, розвивати:

- здатність до математичного та логічного мислення, формулювання та досліджування математичних моделей, зокрема дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування;
- здатність опанувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання з урахуванням похибок наближеного чисельного розв'язування професійних задач.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (РН) (1 – знати; 2 – вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми викладання та навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
РН1.1	Знати основні поняття теорії керування та робототехніки	Лекція, практичне заняття	Контрольна робота (КР) 1, 2, іспит	20%
РН1.2	Знати базові методи керування та робототехніки	Лекція, практичне Заняття		
РН2.1	Вміти вирішувати тестові приклади з теорії керування та робототехніки	Практична заняття, самостійна робота	КР 1, 2, іспит	60%
РН4.1	Організувати свою самостійну роботу для досягнення результату	Самостійна робота, практичне заняття	КР 1, 2	10%
РН4.2	Відповідально ставитися до	Самостійна робота,	КР 1, 2	10%

	виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість	практичне заняття		
--	--	-------------------	--	--

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни	РН1.1	РН1.2	РН2.1	РН4.1	РН4.2
Програмні результати навчання					
<i>(з опису освітньої програми)</i>					
ПРН3. Демонструвати знання закономірностей випадкових явищ, їх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки експериментальних даних і побудови прогнозних моделей.	+	+	+	+	
ПРН6. Демонструвати розуміння принципів моделювання організаційно-технічних систем і операцій; методів дослідження операцій, розв'язання одно – та багатокритеріальних оптимізаційних задач лінійного, цілочисельного, нелінійного, стохастичного програмування.		+	+	+	+

7 Схема формування оцінки

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

1. Контрольна робота 1: РН1.1, РН1.2, РН2.1, РН4.1, РН4.2 – 30 балів /18 балів.
2. Контрольна робота 2: РН1.1, РН1.2, РН2.1, РН4.1, РН4.2 – 30 балів /18 балів

- підсумкове оцінювання (у формі іспиту):

- максимальна кількість балів які можуть бути отримані студентом: 40;
- результати навчання, які оцінюються: РН1.1, РН1.2, РН2.1.
- форма проведення: письмова робота.
- види завдань: два теоретичні питання (40%), дві задачі (60%).

Студент допускається до іспиту якщо семестрі набрав не менше ніж 36 балів. Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит має бути не менше 24 балів.

Типова контрольна робота 1 складається з теоретичних та практичних завдань за матеріалом частини 1.

Матеріал, що виноситься на контрольну роботу 1

1. Постановка задач оптимального керування. Приклади систем керування та їх математичних моделей.
2. Структурні схеми для опису систем керування.
3. Математична постановка задачі оптимального керування в загальному вигляді. Основні означення та терміни. Теорема про існування та єдиність узагальнених розв'язків диференціальних рівнянь з розривними правими частинами. Без доведення.
4. Постановка та дослідження задач керованості для лінійних систем. Нестационарні системи. Теорема про необхідну і достатню умову цілком керованості.
5. Постановка та дослідження задач керованості для лінійних систем. Стационарні системи. Теорема про необхідну і достатню умову цілком керованості.
6. Цілком керованість на заданому проміжку. Теорема про достатню умову цілком керованості на заданому проміжку.
7. Спостережуваність в лінійних системах керування. Теорема про достатню умову існування розв'язку задачі спостережуваності.
8. Спостережуваність в лінійних системах керування. Теорема про достатню умову, що виражається через розв'язок інтегрального рівняння, існування розв'язку задачі спостережуваності.
9. Теореми про зв'язок між спостережуваністю та керованістю.
10. Ідентифікація в системах керування.
11. Керованість, спостережуваність, ідентифікація дискретних лінійних систем.
12. Стійкість за Ляпуновим програмних рухів систем керування.
13. Аналітичне конструювання регуляторів систем керування.
14. Системи першого наближення і другий метод Ляпунова для дослідження стійкості програмних рухів.
15. Постановка задачі оптимального керування як задачі варіаційного числення. Постановка задач Лагранжа, Майєра, Больця.
16. Необхідні умови знаходження оптимальних траєкторій методами варіаційного числення.
17. Умова Якобі та достатні умови екстремуму функціоналів
18. Необхідні і достатні умови для функціоналів вищих порядків
19. Загальна задача Лагранжа.
20. Задача з обмеженнями на керування.

21. Гамільтоніан або канонічна форма рівнянь Ейлера-Лагранжа.

Типова контрольна робота 2 складається з теоретичних та практичних завдань (з відкритими та із закритими відповідями) за матеріалом частини 2.

Матеріал, що виноситься на контрольну роботу 2

1. Постановка задачі на метод динамічного програмування. Принцип оптимальності Беллмана.
2. Рівняння Беллмана для задачі оптимального керування з дискретним часом.
3. Метод динамічного програмування (дискретний час).
4. Задача синтезу оптимального керування в методі динамічного програмування. Висновки: переваги та недоліки методу динамічного програмування.
5. Рівняння Беллмана для задачі оптимального керування з неперервним часом. Метод динамічного програмування (неперервний час).
6. Теореми про достатню умову оптимальності – метод динамічного програмування (неперервний час). Без доведення.
7. Задача синтезу оптимального керування в методі динамічного програмування.
8. Огляд чисельних методів для задач оптимального керування.
9. Принцип максимуму Понтрягіна. Постановка задачі. Теорема про необхідну умову оптимальності (закріплені кінці траєкторії, фіксований час). Без доведення.
10. Принцип максимуму Понтрягіна. Теорема про необхідну умову оптимальності (кінці траєкторії не закріплені – вільні або рухомі, початковий і кінцевий моменти часу – фіксовані). Без доведення.
11. Лінійна задача оптимальної швидкодії. На прикладі системи керування, що описується системою 2-х диференціальних рівнянь із застосуванням принципу максимуму Понтрягіна.
12. Дискретний принцип максимуму. Теорема (дискретний принцип максимуму).
13. Формалізми опису кінематичних схем маніпуляційних роботів.
14. Пряма і обернена задачі кінематики.
15. Чисельні методи вирішення проблем планування траєкторій.
16. Задача локального планування станів.
17. Побудова областей досяжності.
18. Побудова статичних моделей маніпуляційних роботів
19. Побудови рівнянь динаміки маніпуляційних систем в чисельно-аналітичному вигляді.
20. Принцип Лагранжа для побудови рівнянь динаміки маніпуляційних роботів

Питання на іспит

1. Постановка задач оптимального керування. Приклади систем керування та їх математичних моделей.
2. Структурні схеми для опису систем керування.
3. Математична постановка задачі оптимального керування в загальному вигляді. Основні означення та терміни. Теорема про існування та єдиність узагальнених розв'язків диференціальних рівнянь з розривними правими частинами. Без доведення.
4. Постановка задачі оптимального керування як задачі варіаційного числення. Постановка задач Лагранжа, Майєра, Больця.
5. Постановка та дослідження задач керованості для лінійних систем. Нестационарні системи. Теорема про необхідну і достатню умову цілком керованості.
6. Постановка та дослідження задач керованості для лінійних систем. Стационарні системи. Теорема про необхідну і достатню умову цілком керованості.
7. Цілком керованість на заданому проміжку. Теорема про достатню умову цілком керованості на заданому проміжку.

8. Спостережуваність в лінійних системах керування. Теорема про достатню умову існування розв'язку задачі спостережуваності.
9. Спостережуваність в лінійних системах керування. Теорема про достатню умову, що виражається через розв'язок інтегрального рівняння, існування розв'язку задачі спостережуваності.
10. Теореми про зв'язок між спостережуваністю та керованістю.
11. Матриці імпульсних перехідних функцій та їх обчислення. Спряжені системи. Теорема про властивості розв'язків спряжених систем.
12. Принцип максимуму Понтрягіна. Постановка задачі. Теорема про необхідну умову оптимальності (закріплені кінці траєкторії, фіксований час). Без доведення .
13. Принцип максимуму Понтрягіна. Теорема про необхідну умову оптимальності (кінці траєкторії не закріплені – вільні або рухомі, початковий і кінцевий моменти часу – фіксовані).
14. Лінійна задача оптимальної швидкодії. На прикладі системи керування, що описується системою двох диференціальних рівнянь із застосуванням принципу максимуму Понтрягіна.
15. Дискретний принцип максимуму. Теорема (дискретний принцип максимуму).
16. Постановка задачі на метод динамічного програмування. Принцип оптимальності Беллмана.
17. Рівняння Беллмана для задачі оптимального керування з дискретним часом.
18. Метод динамічного програмування (дискретний час).
19. Задача синтезу оптимального керування в методі динамічного програмування.
20. Рівняння Беллмана для задачі оптимального керування з неперервним часом.
21. Метод динамічного програмування (неперервний час).
22. Теореми про достатню умову оптимальності – метод динамічного програмування (неперервний час).
23. Задача синтезу оптимального керування в методі динамічного програмування.
24. Задача аналітичного конструювання оптимального регулятора в лінійних системах керування.
25. Формалізм опису кінематичних схем маніпуляційних роботів.
26. Пряма і обернена задачі кінематики.
27. Чисельні методи вирішення проблем планування траєкторій.
28. Задача локального планування станів.
29. Побудова областей досяжності.
30. . Побудова статичних моделей маніпуляційних роботів.
31. Побудови рівнянь динаміки маніпуляційних систем в чисельно-аналітичному вигляді.
32. Принцип Лагранжа для побудови рівнянь динаміки маніпуляційних роботів.

7.2 Організація оцінювання

Терміни проведення форм оцінювання:

1. Контрольна робота 1: до 2 лекційного заняття.
2. Контрольна робота 2: до 3 лекційного заняття.

Студент має право один раз перескласти контрольну роботу з можливістю отримати не більше 80% балів, призначених за роботу. Термін перескладання визначає викладач.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74

Незадовільно / Fail	0-59
----------------------------	-------------

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і практичних занять

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Практичні заняття	Самостійна робота
Частина 1. Проблеми оптимального керування. Керованість, спостережуваність, стійкість, методи варіаційного числення				
1	Тема 1. Постановка задач оптимального керування, приклади задач оптимального керування. Структурні схеми систем керування <i>Самостійна робота.</i> В рекомендованій літературі дослідити основні постановки та області застосування методів теорії керування.	1		5
2	Тема 2. Теорема про існування та єдиність узагальнених розв'язків диференціальних рівнянь з розривними правими частинами. Постановка та дослідження задач керованості для нестационарних та стаціонарних систем. <i>Практичне заняття.</i> Вирішення прикладів на перевірку керованості стаціонарних і лінійних систем керування. <i>Самостійна робота.</i> Розглянути методи дослідження керованості для нестационарних систем.	1	1	4
3	Тема 3. Критерій керованості для стаціонарних і нестационарних лінійних систем. Зв'язок між спостережуваністю та керованістю в системах керування <i>Самостійна робота.</i> Розглянути методи дослідження керованості та спостережуваності для нестационарних систем.	1		5
4	Тема 4. Спостережуваність в системах керування. Зв'язок між спостережуваністю та керованістю в системах керування. Ідентифікація параметрів систем керування. Керованість, спостережуваність, ідентифікація дискретних систем керування. <i>Практичне заняття.</i> Вирішення прикладів на перевірку керованості, спостережуваності та ідентифікації для стаціонарних лінійних систем керування. <i>Самостійна робота.</i> Розглянути методи дослідження керованості та спостережуваності та ідентифікації для нестационарних систем	1	1	4
5	Тема 5. <i>Самостійна робота.</i> Стійкість програмного руху систем керування. Задача аналітичного конструювання оптимального регулятора в лінійних системах керування. Застосування методів Ляпунова до дослідження стійкості програмних рухів. Системи першого наближення.			5
6	Тема 6. <i>Самостійна робота.</i> Зведення задачі керування до задачі варіаційного числення. Основні задачі варіаційного числення.			5
7	Тема 7. <i>Самостійна робота.</i> Необхідні та		1	5

	достатні умови знаходження екстремальних траєкторій. Задачі на умовний екстремум, з обмеженнями на керування. Канонічна форма рівнянь Ейлера-Лагранжа. <i>Практичне заняття.</i> Вирішення прикладів на знаходження оптимальних траєкторій, перевірка умов Якобі, та дослідження достатніх умов. Розглянути задачі керування, які зводяться до вирішення методами варіаційного числення.			
	Контрольна робота 1			10
Частина II. Метод динамічного програмування. Принцип максимуму Понтрягіна. Проблеми робототехніки.				
8	Тема 8. Метод динамічного програмування. Принцип Беллмана і рівняння Беллмана для систем з дискретним часом. <i>Практичне заняття.</i> Вирішення прикладів на знаходження оптимальних траєкторій методом динамічного програмування для дискретних систем. <i>Самостійна робота.</i> Розглянути підхід Беллмана до вирішення різних задач керування.	1	1	4
9	Тема 9. Алгоритм методу динамічного програмування, застосування до вирішення задач оптимально керування. <i>Практичне заняття.</i> Продовження вирішення задач побудови оптимальних керувань та траєкторій методом динамічного програмування. <i>Самостійна робота.</i> Розглянути підхід Беллмана до вирішення різних задач керування	1	1	5
10	Тема 10. <i>Самостійна робота.</i> Рівняння Беллмана для систем з неперервним часом. Застосування принципу Беллмана до розв'язування окремих задач.			5
11	Тема 11. Рівняння Беллмана в диференціальній формах. <i>Самостійна робота.</i> Розглянути підхід Беллмана до вирішення різних задач керування з неперервним часом	1		5
12	Тема 12. <i>Самостійна робота.</i> Задача аналітичного конструювання оптимального регулятора в лінійних системах керування. Розглянути задачу синтезу оптимального регулятора на основі підходу Беллмана			5
13	Тема 13. <i>Самостійна робота.</i> Принцип максимуму Понтрягіна для систем з неперервним часом			5
14	Тема 14. <i>Самостійна робота.</i> Доведення принципу максимуму. Дискретний принцип максимуму.			5
15	Тема 15. <i>Самостійна робота.</i> Зв'язок між принципом максимуму та класичним варіаційним численням. Задача швидкодії. Розглянути різні постановки задач оптимального керування, які можна вирішити використовуючи принцип максимуму Понтрягіна			5

	Модульна контрольна робота 2			
16	Тема 16. Самостійна робота. Математичний опис кінематичних схем маніпуляційних роботів. Задачі кінематики. Постановки задач планування станів маніпуляційних роботів Розглянути різні постановки задач та формалізми опису кінематичних схем маніпуляційних роботів			5
17	Тема 17. Самостійна робота. Чисельні методи вирішення задачі оберненого планування станів маніпуляційних роботів. Використання принципу максимуму Понтрягіна для вирішення задач кінематики маніпуляційних роботів. Розглянути різні постановки задач робототехніки для планування дій та рухів в середовищі з обмеженнями методами теорії керування			5
18	Тема 18. Самостійна робота. Методи побудови областей досяжності та робочої зони маніпулятора. Побудова програмних рухів маніпуляційних роботів. Методи сплайн-інтерполяцій для планування програмних рухів з заданими властивостями Розглянути різні постановки задач робототехніки, які можна вирішити використовуючи принцип максимуму Понтрягіна			5
19	Тема 19. Самостійна робота. Основні положення механіки для побудови математичних моделей руху маніпуляційних роботів. Чисельно-аналітичні методи побудови рівнянь динаміки маніпуляційних роботів Розглянути різні оптимізаційні методи побудови математичних моделей та алгоритмів керування маніпуляційними роботами			5
	Контрольна робота 2			5
ВСЬОГО		7	5	107

Загальний обсяг **120** год. (4 кредитів ECTS), у тому числі:

Лекцій – 7 год.

Практичні – 5 год.

Консультації – 1 год.

Самостійна робота – **107** год.

9. Рекомендовані джерела

Основні:

1. Бублик Б.Н., Кириченко Н.Ф. Основы теории управления. – К.: Вища школа, 1975. –328 с.
2. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980.-520 с.
3. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975.-538 с.
4. Флеминг У., Ришел Р. Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами. – М.: Мир, 1978.-320 с.

5. Острем К. Введение в стохастическую теорию оптимального управления. М.: Мир, 1973.- 324 с.
6. Лєвошич О.Л., **Крак Ю.В.** Елементи теорії керування. Навчально-методичний посібник для студентів факультету кібернетики спеціальності "Інформатика". – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2002. – 85 с.
7. Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление. –М.: Машиностроение, 1968.-764 с.
8. Брайсон А., Хо Ю-ши. Прикладная теория оптимального управления. Оптимизация, оценки, управление. –М.: Мир, 1972.-544 с.
9. Сейдж З.П., Уайт, Ш Ч.С. Оптимальное управление системами. –М.: Радио и связь, 1982.-392 с.
10. Кириченко Н.Ф., Сорока Р.А., **Крак Ю.В.** Манипуляционные роботы. Алгоритмическое и программное обеспечение средств управления движением. Київ.:КГУ. 1987.
11. Кривонос Ю.Г., **Крак Ю.В.**, Кириченко М.Ф. Моделювання, аналіз і синтез маніпуляційних систем. К.:Наук. думка. – 2006.
12. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. М.: Наука. 1985
13. Кириченко Н.Ф., **Крак Ю.В.**, Сорока Р.А. Оптимізація маніпуляційних роботів. К.:Либідь. 1990
14. **Крак Ю.В.**, Шатирко А.В. Теорія керування для інформатиків. Підручник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2015. –175 с.
15. Karymsakova I.B., **Krak Ju.V.**, Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mahtematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
16. Karymsakova, I.B., Denissova, N.F., **Krak, Y.V.** Modeling of implants and process of dusting by the handlingrobot on implants by means of the virtual Roboguide simulator // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo universiteta imeni D.Serikbaeva, №3 . Vol. 1. Part 2 . 2018. pp.105-109.

Додаткові:

17. Кирич Н.Е. Вычислительные методы теории оптимального управления. –Л.: изд. ЛГУ, 1968.-144с.
18. Зубов В.И. Лекции по управлению. – М.: Наука, 1975.-496 с.