

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

ХЕРСОНСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра автоматики та електроустаткування

T8616



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ»
«STUDY OF OPERATIONS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS»**

Рівень вищої освіти	<i>другий (магістерський)</i>
тип дисципліни	<i>обов'язкова</i>
мова викладання	<i>українська</i>

Херсон - 2022 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» для студентів галузі знань 14 - «Електрична інженерія», спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня - професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

«11» травня 2022 року – 26 с.

Розробник: Блінцов В.С., професор кафедри автоматики та електроустаткування, доктор технічних наук.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» узгоджено з гарантом освітньої програми

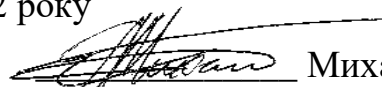
Гарант освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

к.т.н., проф.  Якимчук Г. С.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» розглянуто та ухвалено на засіданні кафедри автоматики та електроустаткування.

Протокол № 06 від «13» травня 2022 року

Завідувач кафедри

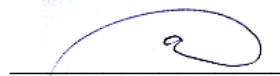


Михаліченко П.С.

Робоча програма навчальної дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» затверджено методичною радою ХННІ НУК.

Протокол №10 від «19» травня 2022 р.

Голова методичної ради ХННІ НУК



О.М. Дудченко

© ХФ НУК, 2022 рік

Зміст

	стор.
Вступ.....	4
1 Опис навчальної дисципліни.....	6
2 Мета вивчення навчальної дисципліни.....	7
3 Передумови для вивчення дисципліни.....	7
4 Очікувані результати навчання	7
5 Програма навчальної дисципліни.....	8
6 Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування.....	20
7 Форми поточного та підсумкового контролю.....	20
8 Критерії оцінювання результатів навчання.....	21
9 Засоби навчання.....	22
10 Рекомендовані джерела інформації	22
Додаток.....	24

ВСТУП

Анотація

Дослідження операцій електромеханічних систем – наука про побудову, розробку та застосування математичних моделей прийняття оптимальних рішень.

В даній дисципліні вивчається сучасний математичний апарат дослідження операцій електромеханічних систем – основні методи теорії оптимального керування, лінійного і нелінійного програмування, синтезу оптимальних систем зі зворотним зв'язком за станом та з бажаними показниками якості перехідних процесів (модальне керування зі спостерігачами стану), параметричної та структурної оптимізації, підпорядкового регулювання з оптимальною настройкою контурів, оптимальної фільтрації та їх практичні додатки стосовно до задач розрахунку оптимальних алгоритмів керування рухомими об'єктами та електроприводами, аналітичного конструювання оптимальних регуляторів, синтезу систем керування електроприводів з бажаними показниками якості, параметричної оптимізації систем керування технологічними об'єктами, синтезу ковзних режимів роботи електроприводів, що забезпечують максимальну швидкодію і мінімум затрат на керування, розрахунку та синтезу систем підпорядкового регулювання електроприводів та настройки контурів на модульний (технічний) та симетричний оптимуми, аналізу лінійних систем і синтезу оптимальних параметрів при випадкових впливах, синтезу оптимальних фільтрів Вінера і Калмана-Б'юсі та стохастичного оптимального керування складними системами.

Робоча навчальна програма з дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» базується на фундаментальних та прикладних дисциплінах, які входять до навчального плану кафедри автоматики та електроустаткування Херсонського навчально – наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова по підготовці бакалаврів.

Курс «Дослідження операцій електромеханічних систем» відноситься до циклу дисциплін професійної підготовки магістрів та забезпечує опанування здобувачами вищої освіти наукових основ проектування оптимальних електромеханічних систем за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня – професійна програма - «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Ключові слова: електропривод, керування, динамічне програмування, лінійна система.

Annotation

The study of operations of electromechanical systems is the science of building, developing and applying mathematical models of optimal decision-making.

In this discipline, the modern mathematical apparatus for researching the operations of electromechanical systems is studied - the main methods of the theory of optimal control, linear and nonlinear programming, synthesis of optimal systems with state feedback and desired indicators of the quality of transient processes (modal control with state observers), parametric and structural optimization, subordinate regulation with optimal configuration of circuits, optimal filtering and their practical applications in relation to the tasks of calculating optimal algorithms for controlling moving objects and electric drives, analytical design of optimal regulators, synthesis of electric drive control systems with desired quality indicators, parametric optimization of control systems for technological objects, synthesis of sliding modes of operation of electric drives, which ensure maximum speed and minimum costs for control, calculation and synthesis of systems of subordinate regulation of electric drives and setting of connections tours on modular (technical) and symmetric optima, analysis of linear systems and synthesis of optimal parameters under random effects, synthesis of optimal Wiener and Kalman-Busy filters and stochastic optimal control of complex systems.

The working curriculum in the discipline "Research of operations of electromechanical systems" is based on fundamental and applied disciplines that are included in the curriculum of the Department of Automation and Electrical Equipment of the Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National Shipbuilding University for the preparation of bachelors.

The course "Research of operations of electromechanical systems" belongs to the cycle of disciplines of vocational training of masters and ensures that students of higher education master the scientific foundations of designing optimal electromechanical systems in the specialty 141 - "Electric power, electrical engineering and electromechanics", educational - professional program - "Electromechanical systems of automation and electric drive" .

Keywords: electric drive, control, dynamic programming, linear system.

1. Опис навчальної дисципліни

Таблиця 1.1

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, (освітня програма) освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 8	Галузь знань 14 «Електрична інженерія»	Нормативна
Модулів - 2	Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Освітня програма «Експлуатація судових автоматизованих систем» Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»	Рік підготовки 1-й
Змістових модулів - 4		Семестри 1-й, 2-й
Електронний адрес на сайті ХННІ НУК: http://kb.nuos.edu.ua/Licensing%20and%20accreditation%20specialties/Electricity-electronics-and-electrical-engineering.html		Лекції 1-й семестр – 30 год. 2-й семестр - 30 год.
Загальна кількість годин – 240		Практичні 1-й семестр – 15 год. 2-й семестр - 15 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних: 1-й семестр – 3 2-й семестр - 3 самостійної роботи студента: 1-й семестр – 5 2-й семестр - 5		Освітній рівень: другий (магістерський)

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» є формування у студентів згідно зі проекту стандарта вищої освіти України підготовки магістрів з галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Інтегральна компетентність - здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або в процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів фізики та інженерних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК3. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.

Фахові компетентності:

ФК1. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК3. Здатність планувати, організовувати та проводити наукові дослідження в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК6. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення даної дисципліни є дисципліни бакалаврської підготовки: «Системи автоматизованого проектування електромеханічних систем», «Моделювання електромеханічних систем» і «Математичні методи та моделі в інженерних розрахунках».

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

ПР2. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.

ПР5. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.

ПР7. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПР9. Здійснювати пошук джерел ресурсної підтримки для додаткового навчання, наукової та інноваційної діяльності.

ПР20. Виявляти основні чинники та технічні проблеми, що можуть заважати впровадженню сучасних методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами.

5. Програма навчальної дисципліни

1-й семестр

Модуль 1

Змістовий модуль 1.1.

Тема 1. Вступ до предмету. Поняття про простір стану. Означення функціонала. Загальна постановка задачі оптимального керування. Класифікація задач оптимального керування.

Джерела інформації: [1], розд.2, п.2.1, 2.2, 2.3; [7], гл.7, п.7.3.4.

Тема 2. Вивід рівнянь Ейлера. Задачі з рухомим кінцям. Умови трансверсальності. Рівняння Ейлера-Лагранжа. Канонічні рівняння Ейлера-Лагранжа. Умови Вейерштрасса-Ердмана.

Джерела інформації: [1], розд.1, п.1.1, 1.2, 1.3; [7], гл.7, п.7.1.;
[16], гл.4, п.16

Тема 3. Рівняння Гамільтона-Якобі. Квадратична форма. Критерій Сильвестра. Приклад розв'язання задачі за підходом Гамільтона-Якобі. Рівняння Гамільтона-Якобі.

Джерела інформації: [17], гл.1, п.6; [16], гл.4, п.16

Тема 4. Процедура розв'язання задач за підходом Гамільтона-Якобі.

Джерела інформації: [17], гл.1, п.6

Тема 5. Метод динамічного програмування. Принцип оптимальності. Диференціальне рівняння Беллмана. Достатня умова оптимальності. Принцип максимуму Понтрягіна.

Джерела інформації: [1], розд.3, п.3.1, розд.4, п.4.1, 4.2

Тема 6. Задача про швидкодію зображаючої точки. Поняття ковзного процесу. Умова існування ковзного процесу.

Джерела інформації: [1], розд.3, п.3.2; [7], гл.5, п.5.4, гл.6, п.6.1

Тема 7. Нормальна форма рівнянь стану. Рівняння виходу. Перехід від структурної схеми до нормальних рівнянь стану. Матрична передавальна функція системи.

Джерела інформації: [8], розд.1, п.1.2; 1.3,1.4

Змістовий модуль 1.2.

Тема 8. Оптимальна швидкодія лінійних об'єктів. Теорема про n інтервалів.
Джерела інформації: [7], гл.8, п.8.2.3

Тема 9. Лінійна двохточечно-крайова задача. Перетворення Ріккати.
Визначення оптимального закону керування.
Джерела інформації: [18], гл.3, 3.3.4

Тема 10. Синтез ПІ-регулятора.
Джерела інформації: [18], гл.3, 3.3.4

Тема 11. Синтез оптимальної слідкуючої системи.
Джерела інформації: [16], гл.5, п.24

Тема 12. Означення та твердження про керованість та спостережність лінійних систем.
Джерела інформації: [8], розд.2

Тема 13. . Перетворення подібності та її наслідки. Канонічні форми рівнянь стану.
Джерела інформації: [8], розд.1, п.1.5, розд.3, п.3.1, 3.2

Тема 14. Синтез регуляторів з бажаними показниками якості. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів модального регулятора. Формула Аккермана.
Джерела інформації: [8], розд.4, п.4.1, 4.2, 4.3

Тема 15. Стандартні характеристичні поліноми замкнутих систем та їх застосування до синтезу модального регулятора. Модальне керування при вхідних впливах.
Джерела інформації: [8], розд.5, п.5.1-5.6; [19], розд.10, п.10.7.1

2-й семестр Модуль 2 Змістовий модуль 2.1

Тема 16. Спостерігач повного порядку (означення, теорема).
Джерела інформації: [8], розд.6, п.6.1

Тема 17. Синтез спостерігача повного порядку з модальним регулятором.
Принцип роздільності.

Джерела інформації: [8], розд.6, п.6.2

Тема 18. Алгоритм синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором. Приклад синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором.

Джерела інформації: [8], розд.6, п.6.3, 6.4.

Тема 19. Розширений спостерігач. Спостерігач пониженого порядку.

Джерела інформації: [8], розд.6, п.6.5 [15], розд.7, п.7.4.

Тема 20. Диференціальні рівняння електропривода з модальним регулятором. Вибір типу стандартного полінома та знаходження виразів для коефіцієнтів модального регулятора. Синтез спостерігача.

Джерела інформації: [8], розд.7, п.7.1, 7.2, 7.4.

Тема 21. Структурна схема електропривода з підпорядковим регулюванням. Налаштування регулятора контуру струму на технічний оптимум. Налаштування регулятора контуру швидкості на технічний і симетричний оптимуми.

Джерела інформації: [8], розд.9, п.9.1, 9.2

Тема 22. Загальна постановка задачі лінійного програмування. Канонічна задача лінійного програмування. Графічний метод розв'язання задач лінійного програмування.

Джерела інформації[2], гл.2, п.2.1-2.3; [4], гл.1, п.1.2, 1.3, 1.4

Тема 23. Загальна постановка задачі нелінійного програмування. Класичний метод знаходження безумовного екстремуму. Визначники Гессе. Чисельний метод Гаусса-Зейделя. Метод градієнта та найшвидшого спуску.

Джерела інформації: [2], гл.5, п.5.1, 5.2; [4], гл.3, п.3.1, 3.2;
[13], Ч.2, гл.1, п.1.4.

Змістовний модуль 2.2

Тема 24. Випадкові величини та їх характеристики. Випадкові процеси та їх характеристики. Деякі типи випадкових процесів.

Джерела інформації: [8], розд.8, п.8.1, 8.2, 8.3]

Тема 25. Вагові функції лінійних систем. Визначення передавальної функції за ваговою функцією.

Джерела інформації: [11], гл.12, п.83

Тема 26. Перетворення випадкових процесів лінійними системами у перехідному режимі. Перетворення випадкових процесів лінійними системами у сталому режимі. Загальні методи дослідження точності лінійних систем. Визначення середнє квадратичної помилки лінійних систем у сталому режимі.

Джерела інформації: [6], Т.2, гл.10, п.10.2.1, с.358-362

Тема 27. Визначення середнє квадратичної помилки лінійних систем у перехідному режимі. Синтез параметрів системи за мінімумом середнє квадратичної помилки.

Джерела інформації: [6], Т.2, гл.10, п.10.2.2, 10.2.4.

Тема 28. Постановка вінеровської задачі оптимальної фільтрації. Рівняння Вінера-Хопфа. Формуючий фільтр. Факторизація спектральній густини. Фільтр Вінера.

. Джерела інформації: [6], Т.2, гл.10, п.10.3.1, 10.3.2- 10.3.4

Тема 29. Постановка несінгулярної (не виродженій) задачі оптимальної фільтрації при білих шумах. Фільтри Калмана-Б'юсі. Фільтр Калмана-Б'юсі при кольоровому шумі об'єкту. Фільтр Калмана-Б'юсі при кольоровому шумі спостереження.

Джерела інформації: [6], Т.2, гл.10, п.10.4.2, п.10.4.3 ; [8], розд.8, п.8.4

Тема 30. Сингулярна (вироджена) задача оптимального оцінювання.

Лінеаризований фільтр Калмана-Б'юсі. Стохастичне оптимальне керування та рівняння Беллмана.

Джерела інформації: [6], Т.2, гл.10, п.10.4.4, п.10.4.5, п. 10.5.1.

5.1. Структура навчальної дисципліни

Таблиця 5.1

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
Лекц.		Лаб.	Практ.	Сам. раб.	
1	2	3	4	5	6
1-й семестр					
Модуль 1.					
Змістовий модуль 1.1.					
Тема 1. Вступ до предмету. Поняття про простір стану. Загальна постановка задачі оптимального керування.	9	2	-	2	5
Тема 2. Вивід рівнянь Ейлера. Задачі з рухомим кінцям. Умови трансверсальності. Рівняння Ейлера-Лагранжа. Канонічні рівняння Ейлера-Лагранжа. Умови Вейерштрасса-Ердмана.	8	2	-	-	6
Тема 3. Рівняння Гамільтона-Якобі. Квадратична форма. Критерій Сильвестра. Приклад розв'язання задачі за підходом Гамільтона-Якобі. Рівняння Гамільтона-Якобі.	9	2	-	2	5
Тема 4. Спостерігач кутової швидкості.	8	2	-	-	6
Тема 5. Метод динамічного програмування. Принцип оптимальності. Диференціальне рівняння Беллмана. Достатня умова оптимальності. Принцип максимуму Понтрягіна	9	2	-	2	5
Тема 6. Задача про швидкодію зображаючої точки. Поняття ковзного процесу. Умова існування ковзного процесу.	8	2	-	-	6
Тема 7. Нормальна форма рівнянь стану. Рівняння виходу. Перехід від структурної схеми до нормальних рівнянь стану. Матрична передавальна функція системи.	9	2	-	2	5
Разом за змістовим модулем 1.1	60	14	0	8	38

Продовження табл.5.1

1-й семестр					
Змістовий модуль 1.2.					
Тема 8. Оптимальна швидкодія лінійних об'єктів. Теорема про n інтервалів.	7	2	-	-	5
Тема 9. Лінійна двохточечно-крайова задача. Перетворення Ріккати. Визначення оптимального закону керування.	8	2	-	2	4
Тема 10. Синтез ПІ-регулятора.	7	2	-	-	5
Тема 11. Синтез оптимальної слідкуючої системи.	8	2	-	2	4
Тема 12. Означення та твердження про керованість та спостережність лінійних систем	7	2	-	-	5
Тема 13. Перетворення подібності та її наслідки. Канонічні форми рівнянь стану.	8	2	-	2	4
Тема 14. Синтез регуляторів з бажаними показниками якості. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів модального регулятора. Формула Аккермана	7	2	-	-	5
Тема 15. Стандартні характеристичні поліноми замкнутих систем та їх застосування до синтезу модального регулятора. Модальне керування при вхідних впливах.	8	2	-	1	5
Разом за модулем 1.2	60	16	0	7	37
В с ь о г о : за 1 семестр	120	30	0	15	75

2-й семестр					
Модуль 2.					
Змістовий модуль 2.1					
Тема 16 Спостерігач повного порядку (означення, теорема).	7	2	-	-	5
Тема 17. Синтез спостерігача повного порядку з модальним регулятором. Принцип роздільності.	8	2	-	2	4
Тема 18. Алгоритм синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором. Приклад синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором.	7	2	-	-	5
Тема 19. Розширений спостерігач. Спостерігач пониженого порядку.	8	2	-	2	4
Тема 20. Диференціальні рівняння електропривода з модальним регулятором. Вибір типу стандартного полінома та знаходження виразів для коефіцієнтів модального регулятора. Синтез спостерігача.	7	2	-	-	5
Тема 21. Структурна схема електропривода з підпорядковим регулюванням. Налаштування регулятора контуру струму на технічний оптимум. Налаштування регулятора контуру швидкості на технічний і симетричний оптимуми.	8	2	-	2	4
Тема 22. Загальна постановка задачі лінійного програмування. Канонічна задача лінійного програмування. Зведення задач лінійного програмування до канонічного вигляду. Графічний метод розв'язання задач лінійного програмування.	7	2	-	-	5
Тема 23. Загальна постановка задачі нелінійного програмування. Класичний метод знаходження безумовного екстремуму. Визначники Гессе. Метод множників Лагранжа. Чисельний метод Гаусса-Зейделя. Метод градієнта та найшвидшого спуску.	8	2	-	2	4
Разом за змістовим модулем 2.1	60	16	0	8	36

2-й семестр					
Змістовий модуль 2.2.					
Тема 24. Випадкові величини та їх характеристики. Випадкові процеси та їх характеристики.	8	2	-	-	6
Тема 25. Вагові функції лінійних систем. Визначення передавальної функції за ваговою функцією.	9	2	-	2	5
Тема 26. Перетворення випадкових процесів лінійними системами у перехідному режимі та у сталому режимі. Загальні методи дослідження точності лінійних систем. Визначення середнє квадратичної помилки.	8	2	-	-	6
Тема 27. Поняття норми динамічної системи.	9	2	-	2	5
Тема 28 Постановка вінеровської задачі оптимальної фільтрації. Рівняння Вінера-Хопфа. Формуючий фільтр. Факторизація спектральної густини. Фільтр Вінера.	8	2	-	-	6
Тема 29. Постановка несінгулярної (не виродженій) задачі оптимальної фільтрації при білих шумах. Фільтри Калмана-Б'юсі. Фільтр Калмана-Б'юсі при кольоровому шумі об'єкту. Фільтр Калмана-Б'юсі при кольоровому шумі спостереження.	10	2	-	2	6
Тема 30. Сингулярна (вироджена) задача оптимального оцінювання. Лінеаризований фільтр Калмана-Б'юсі. Стохастичне оптимальне керування.	8	2	-	1	5
Разом за змістовим модулем 2.2	60	14	0	7	39
Разом за модулем 2 (2-й семестр)	120	30	0	15	75
Всього по дисципліні	240	60	0	30	150

5.2 Теми практичних занять

Практичне заняття є формою навчального заняття, яке проводиться в аудиторії та під час якого викладач організує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання студентом відповідно сформульованих завдань.

Теми практичних занять наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

№ з/п	Найменування тем практичних занять	Обсяг в годинах
1	2	3
1-й семестр		
1	Розв'язання задачі оптимального керування з рухомими кінцями.	2
2	Розрахунок оптимальної діаграми стуму електропривода методом Ейлера-Лагранжа.	2
3	Застосування рівняння Гамільтона-Якобі для знаходження оптимальних алгоритмів та оптимального керування.	2
4	Синтез оптимального керування методом динамічного програмування.	2
5	Застосування принципу максимуму для розв'язання задач. Визначення траєкторії точки у ковзному режимі.	2
6	Опис лінійних систем у просторі стану.	2
7	Зведення диференціальних рівнянь електропривода до нормального вигляду та канонічного вигляду.	2
8	Синтез модального регулятора та синтези спостерігачів різного порядку	1
Всього за 1-й семестр		15

Продовження табл.5.2

1	2	3
2-й семестр		
1	Розрахунок параметрів модального регулятора комплектного електропривода.	2
2	Моделювання перехідного процесу електропривода з модальним регулятором і спостерігачем стану.	2
3	Настройка регуляторів системи підпорядкового регулювання тиристорного електропривода на модульний і симетричний оптимуми.	2
4	Розв'язання задач лінійного програмування графічним методом та симплексним методом.	2
5	Розв'язання задач лінійного програмування графічним методом штучного базису.	2
6	Розв'язання задач нелінійного програмування методом множників Лагранжа.	2
7	Визначення характеристик випадкових процесів в лінійних системах у сталому режимі.	2
8	Визначення характеристик випадкових процесів в лінійних системах у перехідному режимі.	1
Всього за 2-й семестр		15
Разом, годин практичних занять		30

5.3. Самостійна робота

Теми самостійного вивчення теоретичного матеріалу

Таблиця 5.3

№ з/п	Назва теми самостійного вивчення	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
1-й семестр		
1	Метод динамічного програмування. Принцип оптимальності. Диференціальне рівняння Беллмана. Достатня умова оптимальності.	3
2	Визначення закону оптимального керування за методом динамічного програмування.	3
3	Лінійна двох точечно-крайова задача. Перетворення Ріккаті. Визначення оптимального закону керування. Синтез ПІ-та ПІД-регуляторів.	3
4	Синтез регуляторів з бажаними показниками якості. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів модального регулятора. Формула Аккермана.	3
5	Диференціальні рівняння електропривода з модальним регулятором.	3
Всього за модулем 1 (семестр 1)		15
2й семестр		
1	Настройка регулятора контуру швидкості на технічний і симетричний оптимуми.	3
2	Симплекс-метод	3
3	Перетворення випадкових процесів лінійними системами у сталому та перехідному режимі.	3
4	Визначення характеристик випадкових величин і процесів за результатами опитів.	3
5	Постановка несінгулярної (не виродженій) задачі оптимальної фільтрації при білих шумах. Фільтри Калмана-Б'юсі.	3
Всього за модулем 2 (семестр 2)		15
Разом		30

5.4. Розподіл годин самостійної роботи

Таблиця 5.4

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин
		Денна форма
1-й семестр		
1	Підготовка до лекцій	15
2	Підготовка до лабораторних робіт	-
3	Підготовка до практичних занять	15
4	Підготовка до поточного модульного контролю 1.1	5
5	Виконання контрольної роботи	-
6	Самостійне вивчення тем, що не входять до лекційного курсу	15
7	Підготовка до поточного модульного контролю 1.2	5
8	Підготовка до екзамену	20
Разом за 1-й семестр		75
2-й семестр		
1	Підготовка до лекцій	15
2	Підготовка до лабораторних робіт	-
3	Підготовка до практичних занять	15
4	Підготовка до поточного модульного контролю 2.1	5
5	Виконання контрольної роботи	-
6	Самостійне вивчення тем, що не входять до лекційного курсу	15
	Підготовка до поточного модульного контролю 2.2	5
7	Підготовка до екзамену	20
Разом за 2-й семестр		75
РАЗОМ		150

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Методами навчання є: лекції, практичні роботи, виконання курсового проекту.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- контроль виконання практичних завдань;
 - поточні модульні контрольні роботи у формі тестування (тестовий контроль);
- захист курсового проекту;
- екзамени.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного іспиту.

Питома вага заключного іспиту в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний іспит дається студенту, якій з урахуванням максимальних балів проміжних оцінок і заключного іспиту набирає не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки іспиту.

Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті та за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час виконання завдань практичних робіт.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

7.1 Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

Критерії оцінювання поточного модульного контролю знань

у формі тестування

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1-й семестр										
Бал	30	25	20	17	15	12	10	8	6	4
2-й семестр										
Бал	30	25	20	17	15	12	10	8	6	4

Критерії оцінювання підсумкового контролю та екзамену

Бал	Критерії оцінювання
40	Студент відповідає на всі теоретичні питання без помилок
30	Студент дає повні відповіді на 70% теоретичних питань, однак після додаткового питання студент дає правильну відповідь на інші питання.
20	Відповідь на 50% питань повна, та дає правильні відповіді на інші питання після уточнюючих питань.
10	Відповідь на 50% питань повна, та дає помилкові відповіді на інші питання після уточнюючих питань
0	Студент дає менше 30% правильних відповідей на теоретичні питання

Узагальнюючі результати поточного контролю знань

Форма контролю	Максимальна кількість балів
	Денна форма
1-й семестр	
Поточний модульний контроль	МКР№1.1×30 балів = 30 балів
	МКР№1.2×30 балів = 30 балів
Всього	60
2-й семестр	
Поточний модульний контроль	МКР№2.1×30 балів = 30 балів
	МКР№2.2×30 балів = 30 балів
Всього	60

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Змістовий модуль	Тема	Денна форма	
		Вид роботи	Бали
1	2	3	4
Семестр 1			
	T1-T7	Поточний модульний контроль	30
	T8-T15	Поточний модульний контроль	30
Підсумковий контроль		Екзамен	40
Сума			100
Семестр 2			
	T16-T23	Поточний модульний контроль	30
	T24-T30	Поточний модульний контроль	30
Підсумковий контроль		Екзамен	40
Сума			100

9. Засоби навчання

Технічні засоби навчання: мультимедійний проектор, персональні комп'ютери з підключенням до мережі Інтернет.

При проведенні занять за дистанційною формою навчання (у період карантину) використовуються дистанційні платформи й інформаційно-комунікаційні технології (Moodle, Google Classroom, Ding Talk, ZOOM, Cloud Meetings, Skype, Viber, Web Chat, Telegram, соціальні мережі тощо).

10. Рекомендована література

Базова

1. Блінцов В.С., Кінаш А.Т., Хлопенко М.Я. Основні методи оптимального керування електромеханічних систем: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002.- 44 с.
2. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: Підручник. – К.: ЗАТ «ВПОЛ», 2000. - 688с.
3. Зайченко Ю.П., Шумилова С.А. Исследование операций: Сборник задач – Киев: Вища школа, 1984. – 224 с.
4. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 1986. – 319 с.
5. Олейников В.А. Сборник задач и примеров по теории автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1969. – 200 с
6. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учебное пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
7. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. – СПб.: Питер, 2006. – 272 с.
8. Хлопенко М.Я., Білюк І.С., Шевченко В.В. Оптимальне керування системами: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2009. – 84 с.
9. Хлопенко М.Я., Білюк І.С. Збірник задач для контрольних та самостійних робіт з дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем». – Миколаїв: НУК, 2008. – 24 с.
10. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с.
11. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1962. – 884 с.
12. Миллер Б.М., Панков А.Р. Теория случайных процессов в примерах и задачах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 320 с.

Додаткова література

13. Олейников В.А., Зотов Н.С., Пришвин А.М. Основы оптимального и экстремального управления. – М.: Высшая школа, 1969. – 296 с.
 14. Степанюк В.В. Методи математичного програмування. – К.: Вища школа, 1984. – 272 с
 15. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.
 16. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление. – М.: Наука, 1971. – 396 с.
 17. Бутузов В. Ф. Математический анализ в вопросах и задачах: Учебное пособие для студентов вузов. / Бутузов В.Ф., Крутицкая Н.Ч., Медведев Г.Н., Шишкин А.А; Под ред. В.Ф. Бутузова. – М.: Высшая школа, 1988. – 288 с.
 18. Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
 19. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью: : Пер. с англ. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.
 20. Берман Г.Н. Сборник задач по курсу математического анализа. – М.: Наука, 1972. – 416 с.
 21. Розрахунок і проектування стабілізуючої системи оптимального керування електроприводом постійного струму / В.С. Блінцов, М.Я. Хлопенко, А.Т. Кинаш, М.Х. Ходжи Монірі: Методичні вказівки до курсового і дипломного проектування. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 44 с.
 22. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.
 23. Петров Ю.П. Вариационные методы теории оптимального управления. – Л.: Энергия, 1977. – 280 с.
- Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.:

Додаток

ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Контрольні питання до 1-го модуля

1. Поняття про простір стану. Означення функціонала.
2. Загальна постановка задачі оптимального керування.
3. Класифікація задач оптимального керування.
4. Вивід рівнянь Ейлера. Задачі з рухомим кінцям. Умови трансверсальності.
5. Рівняння Ейлера-Лагранжа. Канонічні рівняння Ейлера-Лагранжа..
6. Канонічні рівняння Ейлера-Лагранжа. Умови Вейерштрасса-Ердмана.
7. Рівняння Гамільтона-Якобі. Квадратична форма.
8. Критерій Сильвестра. Приклад розв'язання задачі за підходом Гамільтона-Якобі.
9. Приклад розв'язання задачі за підходом Гамільтона-Якобі. Рівняння Гамільтона-Якобі.
10. Процедура розв'язання задач за підходом Гамільтона-Якобі.
11. Метод динамічного програмування. Принцип оптимальності.
12. Диференціальне рівняння Беллмана. Достатня умова оптимальності. Принцип максимуму Понтрягіна.
13. Задача про швидкодію зображаючої точки. Поняття ковзного процесу.
14. Умова існування ковзного процесу.
15. Нормальна форма рівнянь стану. Рівняння виходу.
16. Перехід від структурної схеми до нормальних рівнянь стану.
17. Матрична передавальна функція системи.
18. Оптимальна швидкодія лінійних об'єктів.
19. Теорема про n інтервалів.
20. Лінійна двохточечно-крайова задача.
21. Перетворення Ріккаті.
22. Визначення оптимального закону керування.
23. Синтез ПІ-регулятора.
24. Синтез оптимальної слідкуючої системи.
25. Означення та твердження про керованість та спостережність лінійних систем.
26. Перетворення подібності та її наслідки.

27. Канонічні форми рівнянь стану.
28. Синтез регуляторів з бажаними показниками якості.
29. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів модального регулятора.
30. Формула Аккермана.
31. Стандартні характеристичні поліноми замкнутих систем та їх застосування до синтезу модального регулятора.
32. Модальне керування при вхідних впливах.

Контрольні питання до 2-го модуля

33. Спостерігач повного порядку (означення, теорема).
 34. Синтез спостерігача повного порядку з модальним регулятором.
 35. Принцип роздільності.
 36. Алгоритм синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором.
 37. Приклад синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором.
 38. Розширений спостерігач.
 39. Спостерігач пониженого порядку.
 40. Диференціальні рівняння електропривода з модальним регулятором.
 41. Вибір типу стандартного полінома та знаходження виразів для коефіцієнтів модального регулятора.
 42. Синтез спостерігача.
 43. Структурна схема електропривода з підпорядковим регулюванням.
 44. Налаштування регулятора контуру струму на технічний оптимум.
 45. Налаштування регулятора контуру швидкості на технічний оптимум.
 46. Налаштування регулятора контуру швидкості на симетричний оптимум.
 47. Загальна постановка задачі лінійного програмування.
 48. Канонічна задача лінійного програмування.
 49. Графічний метод розв'язання задач лінійного програмування.
 50. Загальна постановка задачі нелінійного програмування.
 51. Класичний метод знаходження безумовного екстремуму.
- Визначники Гессе.
52. Чисельний метод Гаусса-Зейделя.
 53. Метод градієнта та найшвидшого спуску.

54. Випадкові величини та їх характеристики.
55. Випадкові процеси та їх характеристики.
56. Деякі типи випадкових процесів.
57. Вагові функції лінійних систем. Визначення передавальної функції за ваговою функцією.
58. Перетворення випадкових процесів лінійними системами у перехідному режимі.
59. Перетворення випадкових процесів лінійними системами у сталому режимі.
60. Загальні методи дослідження точності лінійних систем.
61. Визначення середнє квадратичної помилки лінійних систем у сталому режимі.
62. Визначення середнє квадратичної помилки лінійних систем у перехідному режимі.
63. Синтез параметрів системи за мінімумом середнє квадратичної помилки.
64. Постановка вінеровської задачі оптимальної фільтрації. Рівняння Вінера-Хопфа.
65. Формуючий фільтр. Факторизація спектральній густини. Фільтр Вінера.
66. Постановка несінгулярної (не виродженій) задачі оптимальної фільтрації при білих шумах.
67. Фільтри Калмана-Б'юсі. Фільтр Калмана-Б'юсі при кольоровому шумі об'єкту.
68. Фільтр Калмана-Б'юсі при кольоровому шумі спостереження.
69. Сингулярна (вироджена) задача оптимального оцінювання.
70. Лінеаризований фільтр Калмана-Б'юсі.
71. Стохастичне оптимальне керування та рівняння Беллмана.