

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

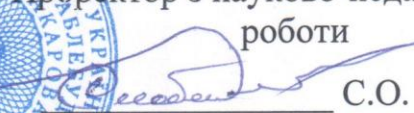
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра комп'ютеризованих систем управління



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної
роботи

 С.О. Слободян

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

**ПРОЕКТУВАННЯ РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНИХ СИСТЕМ
КЕРУВАННЯ**

Design of Robust-Optimal Control Systems

рівень вищої освіти другий (магістерський)

тип дисципліни обов'язкова

мова(и) викладання українська/англійська (за проханням студентів)

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи управління

Миколаїв, 2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Проектування робастно-оптимальних систем керування» є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітня програма «Інтелектуальні комп'ютерні системи управління».

“ 28 ” серпня 2024 р. – 16 с.

Розробник: доктор техн. наук, професор Тимченко В.Л., професор кафедри комп'ютеризованих систем управління

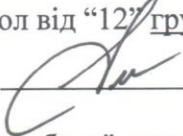
Проект робочої програми навчальної дисципліни «Проектування робастно-оптимальних систем керування» узгоджено з гарантом освітньої програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи управління»

Гарант ОП  О.О. Кудін

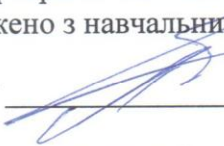
Проект робочої програми навчальної дисципліни «Проектування робастно-оптимальних систем керування» розглянуто на засіданні кафедри комп'ютеризованих систем управління
Протокол від “18” листопада 2024 року № 4.

Завідувач кафедри КСУ  О.О. Черно

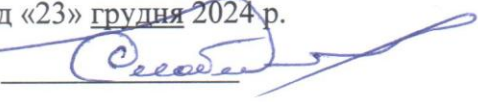
Проект робочої програми навчальної дисципліни «Проектування робастно-оптимальних систем керування» розглянуто методичною радою Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки
Протокол від “12” грудня 2024 року № 5.

Голова  Д.О. Жук

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Проектування робастно-оптимальних систем керування» погоджено з навчальним відділом

Начальник відділу  А.В. Лабарткава

Робочу програму навчальної дисципліни «Проектування робастно-оптимальних систем керування» затверджено Навчально-методичною радою НУК
Протокол № 10 від «23» грудня 2024 р.

Голова НМР НУК 

© Тимченко В.Л., 2024 рік
© НУК, 2024 рік

Анотація

Навчальна дисципліна «Проектування робастно-оптимальних систем керування» є нормативною дисципліною професійної підготовки фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні комп'ютерні системи управління» зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації».

Стрімкий розвиток аерокосмічної галузі привів до створення сучасної системи керування багатовимірними динамічними об'єктами в умовах невизначеності, що базується на теорії оптимальних процесів та адаптивних і робастних методів синтезу систем автоматичного керування (САК). Побудова сучасних ефективних САК рухомими об'єктами з точки зору точності, максимальної швидкодії чи мінімуму витраченої енергії при функціонуванні в умовах невизначеності потребує врахування нелінійності, нестационарності і стохастичності процесів та застосування методів класичного варіаційного числення, принципу максимуму, робастно-оптимального керування. Особливу увагу приділено вивченню методів синтезу оптимального керування, формуванню критеріїв оптимальності, принципів побудови різноманітних адаптивних систем, синтезу робастного керування в умовах невизначеностей. Розглядаються практичні задачі синтезу оптимального керування рухомими об'єктами.

Ключові слова: моделювання, багатовимірні системи, нелінійні та нестационарні системи, керуваність, оптимальне керування, адаптивне та робастне керування.

Abstract

The discipline "Design of Robust-Optimal Control Systems" is a normative discipline of professional training of specialists of the second (master's) level of higher education in the educational-professional program "Intelligence computer control systems" from the specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics" of the field of knowledge 17 "Electronics, automation and electronic communications".

The rapid development of the aerospace industry has led to the creation of a modern control system for multidimensional dynamic objects in conditions of uncertainty, based on the theory of optimal processes and adaptive and robust methods of synthesis of automatic control systems (ACS). The construction of modern efficient ACS moving objects in terms of accuracy, maximum speed or minimum energy consumption under uncertainty requires consideration of nonlinear, nonstationary and stochastic of processes and the use of classical variational calculus, maximum, robust-optimal control. Particular attention is paid to the study of methods of synthesis of optimal control, the formation of criteria for optimality, the principles of construction of various types of adaptive systems, the synthesis of robust control in conditions of uncertainty. Practical problems of synthesis of optimal control of moving objects are considered.

Keywords: multidimensional nonlinear and nonstationary dynamic systems, robust optimal automatic control

ЗМІСТ

1. Опис навчальної дисципліни.....	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни.....	6
3. Передумови для вивчення навчальної дисципліни	6
4. Очікувані результати навчання	6
5. Програма навчальної дисципліни	6
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	9
7. Форми поточного та підсумкового контролю	10
8. Критерії оцінювання результатів навчання	10
9. Засоби навчання	12
10. Рекомендовані джерела інформації	12
Додаток 1.....	14

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів - 4	Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»	Нормативна з циклу дисциплін професійної підготовки магістра	
Модулів - 1	Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» Освітня програма «Інтелектуальні комп'ютерні системи управління»	Рік підготовки	
Змістових модулів - 2		5-й	
		Семестр	
		10-й	
Загальна кількість годин - 120			
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2; самостійної роботи студента – 6	Освітній рівень: другий (магістерський)	Лекції	
		15 год	7 год
		Практичні роботи	
		-	-
		Лабораторні роботи	
		15 год	6 год
		Самостійна робота	
		90 год	120 год
		Вид контролю: екзамен	

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Робоча навчальна програма складена на підставі освітньо-професійної програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи управління» для підготовки здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Дисципліна «Проектування робастно-оптимальних систем керування» відноситься до циклу дисциплін професійної підготовки магістра.

Метою вивчення дисципліни є придбання студентами знань та вмінь у дослідженні та проектуванні оптимальних і адаптивних систем автоматичного керування (САК).

Завдання дисципліни полягає у вивченні методів математичної оптимізації, здобуття необхідних знань, умінь і навичок при проектуванні оптимальних та адаптивних систем та розробці оптимальних та адаптивних алгоритмів керування.

Загальні компетентності:

- здатність проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК1);
- здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК2);
- здатність працювати в міжнародному контексті (ЗК4);

Спеціальні (фахові) компетентності:

- здатність здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням баз даних, баз знань, методів штучного інтелекту, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв (СК1);
- здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами (СК3);
- здатність аналізувати виробничо-технологічні системи і комплекси як об'єкти автоматизації, визначати способи та стратегії їх автоматизації та цифрової трансформації (СК4);
- здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами (СК6);
- здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій (СК7).

3. Передумови для вивчення навчальної дисципліни

Передумов для вивчення навчальної дисципліни «Проектування робастно-оптимальних систем керування» немає.

4. Очікувані результати навчання

Програмні результати навчання полягають в наступному:

- створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, сенсорних технологій, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв (ПРН1);
- створювати високонадійні системи автоматизації з високим рівнем функціональної та інформаційної безпеки програмних та технічних засобів (ПРН2);
- Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами (ПРН4);
- розробляти комп'ютерно-інтегровані системи управління складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, застосовуючи системний підхід із врахуванням нетехнічних складових оцінки об'єктів автоматизації (ПРН5);
- аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації (ПРН7);
- застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв (ПРН8);

- розробляти функціональну, організаційну, технічну та інформаційну структури систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, розробляти програмно-технічні керуючі комплекси із застосуванням мережеских та інформаційних технологій, промислових контролерів, мехатронних компонентів, робототехнічних пристроїв, засобів людино-машинного інтерфейсу та з урахуванням технологічних умов та вимог до управління виробництвом (ПРН9);
- розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами, професійно володіти спеціальними програмними засобами (ПРН10).

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1. Проектування робастно-оптимальних систем керування.

Змістовий модуль 1. Математичне моделювання динамічних систем.

Тема 1. Основи моделювання лінійних багатовимірних систем.

Лекція 1. Основні поняття теорії моделювання 2 год. [2, с. 315-329], [10, с. 2-6].

Лекція 2. Моделювання алгебраїчних векторно-матричних рівнянь. Рівняння для систем з зворотнім зв'язком. Визначення передатної матриці системи. 2 год. [1, с. 139-143], [2, с. 333-341], [5, с. 16-20]

Лекція 3. Математичне моделювання диференціальних систем з постійними коефіцієнтами. Фундаментальна матриця рішень. Неоднорідні рівняння. 2 год. [2, с. 352-358], [10, с. 6-10].

Змістовий модуль 2. Основні поняття та класифікація методів оптимізації та адаптації САК. Методи проектування робастно-оптимальних систем керування рухомими об'єктами

Тема 2. Основи оптимізації багатовимірних систем.

Лекція 4. Основні поняття та методи оптимізації САК. Критерії оптимізації. 2 год. [2, с. 137-141], [4, с. 343-352], [5, с. 198-211]

Лекція 5. Метод простору змінних стану. 2 год. [1, с. 139-159], [2, с. 333-343], [5, с. 139-159].

Тема 3. Методи проектування робастно-оптимальних систем керування рухомими об'єктами.

Лекція 6. Класичне варіаційне числення. Рівняння Ейлера-Лагранжа. 2 год. [2, с. 137-147], [3, с. 343-353].

Лекція 7. Принцип максимуму Понтрягіна. 2 год. [2, с. 147-158], [4, с. 360-367], [5, с. 202-206].

Лекція 8. Види адаптивних систем. Моделювання адаптивних систем. Робастні системи. 1 год. [2, с. 251-264], [4, с. 385-397], [5, с. 253-265].

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	лаб.	практ	с.р.		л	лаб.	практ	с.р.
Модуль 1. Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління										
Змістовий модуль 1. Математичне моделювання лінійних та нелінійних систем.										
Тема 1. Основи моделювання лінійних багатовимірних систем.	60	6	6	-	48	60	3	2	-	55
Разом за змістовим модулем 1	60	6	6	-	48	60	3	2	-	55
Змістовий модуль 2. Основні поняття та класифікація методів оптимізації та адаптації САК. Методи проектування робастно-оптимальних систем керування рухомими об'єктами.										
Тема 2. Основи оптимізації багатовимірних систем.	28	4	4	-	20	30	2	2	-	26
Тема 3. Методи проектування робастно-оптимальних систем керування рухомими об'єктами.	32	5	5	-	22	30	2	2	-	26
Разом за змістовим модулем 2	60	9	9	-	42	60	4	4	-	52
Усього годин	120	15	15	-	90	120	7	6	-	107

Теми лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Моделювання векторно-матричних перетворень. Множення двох заданих матриць 4×4 . Транспонування та знаходження зворотної матриці. Обчислення рангу матриці.	2	2
2	Моделювання та рішення алгебраїчної системи рівняння четвертого порядку.	2	2
3	Моделювання квадратичної форми.	2	-
4	Моделювання фундаментальної матриці рішень.	2	2
5	Моделювання й знаходження фундаментальної матриці диференціальної системи 3-го порядку за допомогою розкладання Сильвестра.	2	-
6	Моделювання та лінеаризація нелінійних систем за допомогою ряду Тейлора та найменших квадратів. Порівняльний аналіз двох методів.	2	-
7	Моделювання випадкових впливів у неперервних системах.	3	-

Теми практичних занять

Практичні заняття програмою не передбачено.

Самостійна робота

Самостійна робота здобувача вищої освіти є однією з форм організації навчання, основною формою оволодіння навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових навчальних занять.

Навчальний матеріал дисципліни, передбачений для засвоєння здобувачем вищої освіти в процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль поряд з навчальним матеріалом, який опрацьовувався при проведенні навчальних занять.

Розподіл годин самостійної роботи для денної форми навчання:

- підготовка до лекційних занять – 0,5-1 год. / на 1 лекцію;
- підготовка до лабораторних робіт – 1-2 год. / 1 робота;
- підготовка до контрольних заходів – 5 год. на 1 захід;
- виконання та захист курсового проекту – 90 год.

Завдання для самостійної роботи

№	Вид роботи	Кількість годин	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
1	Підготовка до лекцій	30	37
2	Підготовка до лабораторних робіт	30	30
3	Підготовка до контрольних заходів	30	40
Разом		90	107

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

Методи навчання:

- лекція;
- ілюстрування;
- лабораторна робота;
- інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки (проводиться одноразово на першому занятті в лабораторії);
- робота з літературою;

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- екзамен;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- завдання на лабораторному обладнанні та комп'ютерах.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Рівень засвоєння матеріалу дисципліни здійснюється шляхом проведення поточного модульного контролю (ПМК) у вигляді тестових завдань різної складності, захисту звітів з лабораторних робіт, виконання індивідуального завдання та підсумкового контролю у формі письмового екзамену.

Підсумкова оцінка з дисципліни складається з оцінок, отриманих за поточний (модульний) контроль, результатів здачі та захисту лабораторних робіт, результатів виконання індивідуального завдання та екзамену. У разі успішного навчання протягом семестру, підсумкова оцінка може бути виставлена без іспиту.

За всі контрольні заходи (КЗ) протягом семестру студент може отримати від 0 до 100 балів. Умовою допуску студента до КЗ є мінімальна сума балів, яку студент повинен набрати у разі виконання всіх елементів модулів. Якщо студент не набрав мінімальну суму балів, то він не допускається до КЗ і йому рекомендується набрати цю кількість за рахунок виконання додаткового індивідуального завдання. Студент, який отримав за всі КЗ протягом семестру не менше 60 балів, за його бажанням, може бути звільненим від семестрового екзамену. Студент, який набрав за всі КЗ менше 60 балів, обов'язково складає підсумковий екзамен.

Результуюча оцінка виставляються відповідно до шкали оцінювання ECTS.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за результатом підсумкового контролю	Оцінка ECTS
90 – 100	A
82 – 89	B
74 – 81	C
64 – 73	D
60 – 63	E
35 – 59	FX
0 – 34	F

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Звіти з лабораторних завдань оцінюються за двома умовами:

- підготовка звіту;
- захист звіту.

Рівень підготовки звіту оцінюється за трьома критеріями:

- вчасність здавання звіту;
- правильність виконання завдання;
- відповідність оформлення звіту вимогам.

Рівень захисту звіту оцінюється за такими критеріями:

- правильність відповіді;
- оперативність надання відповіді.

Кількість балів	Критерії оцінювання
5	Роботу виконано самостійно у встановлений термін. Студент самостійно визначає тип задачі, мету написання програми, складає алгоритм раціонального вирішення поставленої задачі. У висновках проведено коректну інтерпретацію результатів. Звіт відповідає встановленим вимогам.
4	Роботу виконано самостійно з порушенням встановленого терміну. Студент самостійно виконує всі завдання лабораторної роботи. У висновках проведено коректну інтерпретацію результатів. Звіт відповідає встановленим вимогам.
3	Роботу виконано із підказками викладача з порушенням встановленого терміну. Студент складає алгоритм вирішення поставленої задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.
2	Роботу виконано під керівництвом викладача з порушенням встановленого терміну. Студент пише програму за складеним під керівництвом викладача алгоритмом вирішення поставленої задачі. Складає звіт, що містить неточності і помилки.
0	Робота не виконується

Поточний модульний контроль у формі тестування

Денна форма(МКР1, МКР2)

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Кількість балів	15	13,5	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5
Кількість балів	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2

Заочна форма (МКР1, МКР2)

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Кількість балів	25	22,5	20	17,5	15	12,5	10	7,5	5	2,5
Кількість балів	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Виконання лабораторних робіт	7 x 5 балів = 35 балів	3 x 5 балів = 15 балів
Поточний модульний контроль	15+ 20 = 35 бали	25 + 30 = 55 бали
Всього	70 балів	70 балів

Кількість балів	Критерії оцінювання за виконання екзаменаційної контрольної семестрової роботи (включає 2 теоретичні питання і одну задачу)
30	Студент вільно володіє матеріалом; знає методи та алгоритми математичної оптимізації динамічних систем, методи лінеаризації нелінійних систем; вміє провести розрахунки критеріїв керованості та спостережності динамічних систем; знає методи дослідження стохастичних систем; вміє формулювати завдання та вимоги оптимізації динамічних систем керування; використовувати методи оптимальних процесів для конкретних задач та об'єктів керування; розробляти алгоритми оптимального та адаптивного керування; складати функціональні схеми оптимальних і адаптивних САК.
20	Студент знає методи математичної оптимізації, область їх застосування для вирішення практичних задач, вміє аргументувати вибір конкретного методу оптимізації; лінеаризовувати нелінійні рівняння, моделювати на ЕОМ графіки змінних стану динамічної моделі
10	Студент має уявлення про існуючі методи математичної оптимізації, вміє описати диференційну систему рівнянь
0	Студент має знання та вміння нижче рівня, визначеного попередньою оцінкою

Формування підсумкової оцінки

		Денна форма		Заочна форма	
		Вид роботи	Кількість балів	Вид роботи	Кількість балів
ЗМ1	T1	Лабораторна робота 1-3	15	Лабораторна робота 1,2	10
	ПМК1	Тест	15	Тест	25
ЗМ2	T3	Лабораторна робота 4,5	10	-	-
	T4	Лабораторна робота 6,7	10	Лабораторна робота 3	5
	ПМК1	Тест	20	Тест	30
Підсумковий контроль		екзамен	30	екзамен	30
Всього			100		100

Штрафні та заохочувальні бали за:

відсутність на лекційному занятті без поважної причини..... – 1 бал

відсутність на занятті без поважної причини..... – 3 бали

участь у олімпіадах з дисципліни, відповідно..... + 4,6, 8, 10 балів
 участь у модернізації лабораторних робіт чи виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни.....+ 10 балів.

9. Засоби навчання

Для досягнення мети дисципліни та набуття бажаних результатів навчання передбачено застосування наступних засобів навчання:

- комп'ютери, елементи і пристрої моделювання;
- мови програмування: C/C#, Python;
- обчислювальні середовища: MATLAB, Simulink, Mathcad, Power Point.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Dorf, R., Bishop, R. Modern control systems, Adison - Wesley, 1998 - 832 p.
2. Chaku, F. Modern control theory, Budapest, Akademiani Kiado, 1972 - 410 p.
3. Соколов Ю.М., Ілюшко В.М., Луханін М.І., Уруський О.С., Шамарін А.Ю. Комп'ютерне проектування систем оптимального керування, під ред. Ю.М. Соколова. - Київ. : «Аванп.-Прим», 2006. - 269 с.
4. Зайцев В.Ф. Теорія автоматичного керування та регулювання, Вища школа, Київ, 1988, 424 с.
5. Ткаченко О.М. Суднові системи автоматичного керування та регулювання, Суднобудування, 1984. – 288 с.
6. Polyak, B.T., Shcherbakov, P.S. Robust stability and control, 2002. - 303 p.
7. Ушаков, Е. П. Адаптивне керування нестационарними технологічними об'єктами, Львів: Видавництво Української академії друкарства, 2003. - 182 с.
8. Б.М. Гордєєв, Ю.Д. Жуков, Тимченко В.Л. О.О. Кудін., О.В. Зівенко Програмне забезпечення контролерів для автоматизації технологічних процесів об'єктів морської інфраструктури, Навчальний посібник Миколаїв, 2014. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 154 с.
9. Тимченко В.Л. Оптимальні та адаптивні системи управління, Методичні вказівки, Миколаїв, 2006. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 24 с.
10. Тимченко В.Л. Д.М.Підопригора І.В.Тимченко Моделювання неперервних динамічних систем, Методичні вказівки, Миколаїв, 2007. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 32 с.
11. Тимченко В.Л. Проектування оптимальних систем управління динамічними об'єктами, Методичні вказівки, Миколаїв, 2006. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 24 с.

Додаткова

12. Handbook on the theory of automatic control / Ed. A.A. Krasovsky. — Ch. ed. Phys.-Math. lit., 1987.
13. Horowitz, I. M. Survey of quantitative feedback theory (QFT), // Int. Journal of Robust and Non-Linear Control. - 2001. - vol.11. №10. - P.887-921.
14. Recent Developments in Automatic Control Systems, Series in Automation, Control and Robotics, In: Y.P. Kondratenko, V.M. Kuntsevich, A.A. Chikrii, V.F. Gubarev (Eds.), Recent Developments in Automatic Control Systems, Series in Automation, Control and Robotics, River Publishers, Gistrup (2022) p. 484. (2022) ISBN: 978-87-7022-674-5/
15. Timchenko, V.L., Lebedev, D.O., Optimization of Processes of Robust Control of Quadcopter for Monitoring of Sea Waters. In: Journal of Automation and Information Sciences, NY., Begell house, vol. 51, issue. 2, pp. 1–10 (2019)
16. V. L. Timchenko, Optimization of programmed trajectories of moving object's stabilization based on a control system of variable structure, International Journal of Problems of Control and Informatics, 2022, Vol. 66, No. 3, pp.61–76.

Інформаційні ресурси в Інтернет

– Введення в теорію оптимального керування.

<http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/nogin/publ/publ5.pdf>

– Теорія оптимального керування. Лекції.

<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F+%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE+%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F+%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8>

– Теорія адаптивного керування. Лекції.

<https://elib.spbstu.ru/dl/2110.pdf/download/2110.pdf>

– Control Theory Wiki – https://en.wikipedia.org/wiki/Control_theory

– Automatic control theory -

https://encyclopediaofmath.org/wiki/Automatic_control_theory

Питання для модульного контролю**Змістовий модуль 1. Математичне моделювання лінійних та нелінійних систем.**

1. Основні поняття теорії математичного моделювання безперервних систем.
2. Основи векторно-матричного зчислення.
3. Методи пошуку зворотної матриці.
4. Квадратична форма.
5. Рішення алгебраїчних систем.
6. Метод перемінних стану.
7. Рівняння стану для систем з зворотнім зв'язком.
8. Визначення передаточної матриці.
9. Диференційні системи з постійними коефіцієнтами.
10. Фундаментальна матриця рішень.
11. Неоднорідні диференційні системи.
12. Метод оператора Лапласа.
13. Метод розкладань Сильвестра.
14. Моделювання систем зі змінними коефіцієнтами.
15. Стаціонарні та нестаціонарні системи.
16. Основні види нелінійностей.
17. Лінеаризація поблизу робочої точки.
18. Гармонійна лінеаризації систем.
19. Модифікований метод лінеаризації.
20. Статистична лінеаризації.

Змістовий модуль 2. Математичне моделювання стохастичних систем.

1. Моделювання стохастичних систем.
2. Основні характеристики випадкових процесів.
3. Спектральна щільність в лінійних системах.
4. Поняття „білого шуму”.
5. Формуючі фільтри.
6. Випадкові характеристики морського хвилювання.
7. Випадкові характеристики вітрового збурення.
8. Статистичний аналіз лінійних систем.
9. Середньоквадратична похибка.
10. Моделювання крайових задач.
11. Види крайових умов.
12. Методи оптимізації шагу інтегрування
13. Види різницевих рівнянь.
14. Критерій керованості.
15. Критерій спостережності.
16. Використання пакету Matlab та Mathcad для моделювання систем.

Змістовий модуль 3. Основні поняття та класифікація методів оптимізації та адаптації САК.

1. Основні поняття теорії оптимальних процесів.
2. Критерії оптимізації.
3. Властивості нелінійних систем.
4. Рівняння стану.
5. Види загальної спостережуваності в просторі стану.
6. Умови спостережуваності стаціонарної системи.
7. Принцип двоїстості в теорії керованості та спостережуваності.
8. Умови спостережуваності нестаціонарної системи на основі матриці Коші.
9. Критерії спостережуваності стаціонарних та нестаціонарних систем з дискретним часом.
10. Керованість лінійних стаціонарних систем.
11. Критерії керованості лінійних стаціонарних систем з дискретним часом.
12. Умови керованості нестаціонарних систем, в тому числі з дискретним часом.
13. Поняття керованості нелінійних систем.

Змістовий модуль 4. Теорія оптимального керування. Адаптивне керування.

1. Автономні та неавтономні об'єкти.
2. Лінійні оптимальні швидкокодії.
3. Критерій швидкокодії.
4. Оптимізація систем з транспортним запізненням.
5. Динамічне програмування в неперервній формі.
6. Динамічне програмування в дискретній формі.
7. Динамічне програмування і квазілінеаризація крайових задач.
8. Зв'язок динамічного програмування з класичним численням.
9. Зв'язок динамічного програмування з принципом максимуму.
10. Принцип максимуму для задач мінімуму витрати енергії.
11. Види адаптивних систем.
12. Пасивна адаптація.
13. Активна адаптація.
14. Адаптивні системи з великим коефіцієнтом підсилення.
15. Адаптивні системи з заданим коефіцієнтом затухання.
16. Адаптивні системи з еталонною моделлю.
17. Самоадаптація систем.
18. Методи адаптивного пошуку.
19. Градієнтний метод пошуку.
20. Критерій керованості.
21. Критерій спостережності.
22. Методи ідентифікації.
23. Основні характеристики випадкових процесів.
24. Синтез оптимального керування в стохастичних системах.
25. Оптимальна фільтрація.
26. Фільтр Калмана.
27. Адаптивні фільтри.