

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з наукової  
роботи, д-р техн. наук, професор

Болондир ПОШИВАЛОВ  
14.09.2023

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**ОК 2.7 Оптимальні та адаптивні системи**

здобувачів освітньо-наукового рівня доктора філософії зі спеціальності -  
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
рівень освіти - третій (освітньо-науковий)  
галузь знань - 15 Автоматизація та приладобудування  
спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
спеціалізація \_\_\_\_\_ (шифр і назва)  
освітня(-і) програма(-и)- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в ракетно-  
космічній техніці  
факультет/центр - аспірантура ІТМ НАНУ і ДКАУ, відділ 9  
вид дисципліни (обов'язкова/вибіркова) - вибіркова

Робоча навчальна програма дисципліни «Оптимальні та адаптивні системи» складена на  
основі освітньо-кваліфікаційної характеристики та освітньо-професійної програми  
підготовки аспірантів фахового напрямку «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»  
Розробник: Алпатов Анатолій Петрович, член-кор. НАНУ, д.т.н., професор, завідувач  
відділу системного аналізу та проблем керування (відділ 9).

Робоча навчальна програма розглянута:  
на семінарі відділу 9: протокол № 4 від 06.09.2023 р.

Завідувач відділу 9  Анатолій АЛПАТОВ

2023

**1. Мета дисципліни** – вивчення методів оптимального і адаптивного управління об'єктами космічної техніки.

**2. Завдання вивчення дисципліни** - вивчити способи формування критерію якості в залежності від специфіки завдання; вивчити методи оптимального і адаптивного управління і область їх застосування

Сформуванати у аспірантів цілісну уяву про методологію досліджень з використанням методів оптимізації систем та процесів, також методів аналізу і синтезу адаптивних систем. що потрібні для розв'язання інженерних та науково-технічних задач.

**3. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності).**

Дисципліна безпосередньо пов'язана з дисциплінами природничо-наукового і математичного циклу (математика, математичні основи теорії систем) і базової частини професійного циклу (теорія автоматичного управління, математичне моделювання об'єктів і систем управління) і спирається на освоєння при вивченні даних дисциплін знання і вміння. Кореквізітами для дисципліни «Адаптивні системи управління» є спеціальні дисципліни магістерської підготовки: «Автоматизоване управління в технічних системах», «Методи оптимізації», «Сучасні проблеми теорії управління», «Науково-дослідницька робота».

**4. Результати навчання за дисципліною та їх співвідношення із програмними результатами навчання.**

Програмні результати навчання:

РНЗ. Знання і розуміння засад фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.

Таблиця 1

Розподіл навчальних годин, семестр **3**

Форма навчання	Денна
Курс	<b>2</b>
Усього за навчальним планом, (годин)	150
<b>Аудиторні заняття, годин:</b>	54
- лекції	38
- лабораторні	10
- практичні (семінарські)	6
<b>Самостійна робота, годин:</b>	96
- підготовка до лекції	18
- підготовка до лабораторних робіт	6
- підготовка до практичних занять	6
- підготовка до домашніх завдань	
- опрацювання тем, які не викладаються на лекціях	40
- підготовка до комплексної контрольної роботи (залік)	26
<b>Виконання індивідуальних завдань, годин:</b>	
- рефератів, аналітичних оглядів, ессе та ін.	
- розрахункових, графічних, розрахунково-графічних робіт	
- курсових робіт (проектів)	

<b>Контрольні заходи, год:</b>	4
- підсумковий контроль	залік

#### **4. Структура навчальної дисципліни.**

3 семестр

Форма навчання\_денна, очна

##### **4.1. Зміст розділів дисципліни**

###### **Розділ 1. Оптимальні системи**

**Тема 1.** Завдання оптимального керування як завдання динамічної оптимізації. Класифікація задач керування. Поняття стаціонарної задачі і її особливості. Приклади завдань оптимального керування. Необхідні і достатні умови оптимальності для різних класів задач. Вид необхідних умов оптимальності в залежності від заданих крайових умов. Достатні умови оптимальності. Алгоритм знаходження оптимального керування. Фізичний сенс пов'язаних змінних.

**Тема 2.** Рішення завдання управління в разі наявності обмежень на дії

Постановка задачі. Принцип максимуму Понтрягіна. Алгоритм знаходження оптимального керування.

**Тема 3.** Оптимальне керування лінійною системою. Матричне рівняння Риккати і властивості його рішення. Алгоритм розв'язання задачі. Особливості стаціонарного випадку. Приклад практичного застосування лінійно-квадратичної задачі. Характеристика задач аналітичного конструювання оптимальних регуляторів (АКОР).

Постановка задачі екстремального керування. Приклади об'єктів керування з екстремальними статичними характеристиками. Принципи побудови одномірних систем екстремального керування. Статичні та динамічні характеристики систем екстремального керування

**Тема 4.** Метод динамічного програмування Беллмана і його застосування для вирішення завдань оптимізації. Принцип динамічного програмування. Рівняння Беллмана. Алгоритм розв'язання задачі. Приклад.

###### **Розділ 2. Оптимізація систем рухомого керування**

**Тема 5.** Системи рухомого керування (СРК) . Вступ до проблеми. Визначення та моделі.

Задачі рухомого управління системами з розподіленими параметрами. Задача рухомого управління з зосередженими параметрами. Практичне застосування СРК[2] Приклади реалізації рухомого управління системами з розподіленими параметрами. Приклади реалізації рухомого управління системами з зосередженими параметрами

**Тема 6.** Методи дослідження стійкості систем рухомого управління . Кусково-лінійні системи. Стійкість в режимі циклічних переключень. Аналіз впливу зовнішніх впливів і похибок переключень за часом. Оцінки значень фазових координат кусочно-лінійних систем. Дослідження двоканальної системи (приклад). Стійкість систем, що не зводиться до кусочно-лінійним моделей.

**Тема 7.** Методи синтезу оптимальних систем рухомого керування (6 годин).

Побудова програм перемикання. Метод функцій стану. Метод функцій Ляпунова. Синтез регулятора для сепаратних систем. Моделі систем. Типи регуляторів. Методи оптимізації. Приклади. Оптимізація параметрів регулятора лінійних нестационарних систем. Методи оптимізації. Моделі систем. Алгоритми. Приклади

**Тема 8** Рухоме управління орієнтацією космічних апаратів. (4 години)

Динаміка орієнтації і стабілізації космічного апарату при рухомому керуванні. Модель динаміки орієнтації і стабілізації космічного апарату. Алгоритми рухомого керування. Орієнтація за допомогою реактивних двигунів. Рухоме керування орієнтацією космічного апарату за допомогою електромаховічних двигунів. Одноосьова орієнтація космічного апарату за допомогою магнітопривода в різних опорних системах координат. Інерціальна система координат. Орбітальна система координат. Орієнтація по вектору магнітної індукції.

### **Розділ 3. Адаптивні системи**

**Тема 9.** Загальні поняття про адаптивних системах. Робоча і початкова інформація в системах автоматичного керування. Ідентифікація об'єктів керування. Математичні моделі об'єктів керування зі змінними і невизначеними параметрами. Поняття про адаптивних системах. Структура адаптивних систем керування. Основні принципи побудови контуру адаптації. Класифікація адаптивних систем. Постановка завдання синтезу адаптивних систем керування. Системи автоматичного керування з двома ступенями свободи. Системи, стійкі при нескінченному коефіцієнті посилення. Пошукові адаптивні системи. Регулярні та випадкові методи пошуку багатомірних екстремумів.

**Тема 10.** Моделі і алгоритми, які використовуються в самоналагоджувальних адаптивних системах керування. Детерміновані обчислювальні алгоритми, методи статистичної оптимізації, Алгоритми стохастичною апроксимації. Автоколивальні які самостійно системи. Самоналагоджувальна система зі стабілізацією частотних характеристик. Самоналагоджувальна система зі стабілізацією частоти зрізу і запасу стійкості по фазі. Самоналагоджувальна система, заснована на порівнянні високочастотних і низькочастотних складових сигналу. Системи з явною еталонною моделлю. Алгоритми настройки параметрів в адаптивній системі з неявній еталонною моделлю. Приклад синтезу адаптивної системи з еталонною моделлю.

**Тема 11.** Застосування градієнтних методів при створенні адаптивних систем. Сучасні тенденції і перспективи розвитку теорії адаптивних систем керування. Алгоритми швидкісного градієнта і умови їх застосовності. Робастні алгоритми швидкісного градієнта. Алгоритми швидкісного градієнта в системах з явною еталонною моделлю. Алгоритми швидкісного градієнта в системах з неявній еталонною моделлю. Сучасні тенденції і перспективи розвитку теорії адаптивних систем керування. Концепція багаторежимного керування. Комбінування адаптивного і робастного керувань.

**Тема 12.** Нейромережеві системи керування. Головні визначення. Нейромережеві системи як самоналагоджувані системи керування. Типові структури з навченою багатосаровою нейронною мережею. Реалізація елементів нейромережевих систем керування. Сумісність з іншими елементами системи, Оптимальні по складності нейромережеві структури. Нейромережеві структури для побудови адаптивних систем керування. Проблеми навчання та адаптації у реальному часі. Метод швидкісного градієнта. Апаратні засоби реалізації . нейромережевих систем керування.

Таблиця 2

## Розподіл навчальних годин по темам

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин*			
		лекції	семінарські/ практичні вибрати необхідне	Лабораторні заняття	Самостійна робота
1	Тема 1. Завдання оптимального керування як завдання динамічної оптимізації./ <i>Самостійно. Оптимальне програмне керування.</i>	2			4/2
2	Тема 2. Рішення завдання керування в разі наявності обмежень на дії/ <i>Самостійно. Побудова регуляторів при неповній інформації про вектор стану</i>	4			6/2
3	Тема 3. Оптимальне керування лінійною системою./ <i>Самостійно. Оптимальне за швидкодією управління лінійними об'єктами.</i>	4		2	4/2
4	Тема 4. Метод динамічного програмування Беллмана і його застосування для вирішення завдань оптимізації./ <i>Самостійно. Зв'язок методу динамічного програмування і принципу максимуму.</i>	2	2		8/2
	<b>Тема 5</b> Системи рухомого керування (СРК)	4			2
	<b>Тема 6</b> Методи дослідження стійкості систем рухомого керування	4		2	4
	<b>Тема 7.</b> Методи синтезу оптимальних систем рухомого керування	2		2	4
	<b>Тема 8</b> Рухоме керування орієнтацією космічних апаратів	4	2		4
5	<b>Тема 9.</b> Загальні поняття про адаптивних системах. Системи	2			4/2

	автоматичного управління з пасивною адаптацією/ <i>Самостійно. Системи автоматичного управління з двома ступенями свободи. Системи, стійкі при нескінченному коефіцієнті посилення.</i>				
6	<b>Тема 10.</b> Моделі і алгоритми, які використовуються в самоналагоджувальних адаптивних системах керування/ <i>Самостійно. Системи з явною та неявною еталонними моделями</i>	4		2	6/2
7	<b>Тема 11.</b> Застосування градієнтних методів при створенні адаптивних систем./ <i>Самостійно. Сучасні тенденції і перспективи розвитку теорії адаптивних систем керування</i>	4	2	2	4/2
8	<b>Тема 12.</b> Адаптивні нейромережеві системи керування	2			2
	Підготовка до лекцій				18
	Підготовка до комплексної контрольної роботи (залік)				26
	<b>Всього</b>	38	6	10	96

Таблиця 3

### 5.Схема формування оцінки. Шкала відповідності оцінюванн

Відмінно	Зараховано	90-100
Добре		82-89
Задовільно		75-81
		64-74
Незадовільно	Не зараховано	60-63
		0-59

#### 5.1 **Форми та організація оцінювання:**

#### 5.2 **Поточне оцінювання :**

Таблиця 4

Форма оцінювання	Терміни оцінювання (тиждень)	Максимальна кількість балів
Контрольне тестування за темами	(2-16)	20

Оцінювання рівня виконання завдань для самостійної роботи	(14-17)	20
залік	семестр	60
<b>Максимальна кількість балів за поточне оцінювання</b>		
<b>100</b>		

### Основна література

1. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.
2. Markley FL, Crassidis JL. Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control. New York: Springer-Verlag, 2014, p.152.
3. Pratt, Roger W. Flight Control Systems - Practical Issues in Design and Implementation. —Institution of Engineering and Technology, 2010, p.412.
4. Павловський М.А., Горбулін В.П., Клименко О.М. Системи керування обертальним рухом космічних апаратів. Київ: Наукова думка, 1997.– 199с.
5. Knowles G. An Introduction to Applied Optimal Control. New York: Academic Press, 1981, p.35.
6. Zhou K, Doyle JC, Glover K. Robust and Optimal Control. New York: Prentice-Hall, 1996, p. 616.
7. Алпатов А. П. Динаміка космічних літальних апаратів /А. П. Алпатов//Київ: Наукова думка, 2016. - 487 с.
8. De Ruiter, Anton H. J. Spacecraft dynamics and control: an introduction // J. Wiley & Sons, 2013. - 563 p.

### Додаткова література

1. Zhou K, Doyle JC, Glover K. Robust and Optimal Control. New York: Prentice-Hall, 1996, p. 616.
2. Alpatov A.P., Khoroshylov S.V, Maslova A.I. Contactless de-orbiting of space debris by the ion beam. Dynamics and control // Kyiv: Akadempriodyka, 2019. - 170 p.

### 7.Інформаційні ресурси

- 1.Методичні матеріали з дисципліни
2. Бібліотека ІТМ НАНУтаДКАУ
3. Бібліотека ДНУ.
4. Електронні посібники
- 5.Інтернет-ресурси

### 8.Перелік питань з навчальної дисципліни «Оптимальні та адаптивні системи»

1. Класифікація задач управління.
2. Поняття стаціонарної задачі і її особливості.
3. Приклади завдань оптимального керування
4. Необхідні і достатні умови оптимальності для різних класів задач.
5. Вид необхідних умов оптимальності в залежності від заданих крайових умов
6. Достатні умови оптимальності.
7. Алгоритм знаходження оптимального керування.

8. Фізичний сенс пов'язаних змінних.
9. Рішення завдання керування в разі наявності обмежень на дії
10. Принцип максимуму Понтрягіна.
11. Алгоритм знаходження оптимального управління згідно принципу максимуму.
12. Оптимальне керування лінійною системою.
13. Матричне рівняння Ріккати і властивості його рішення.
14. Приклад практичного застосування лінійно-квадратичної задачі
15. Характеристика задач аналітичного конструювання оптимальних регуляторів (АКОР).
16. Постановка задачі екстремального керування.
17. Приклади об'єктів керування з екстремальними статичними характеристиками.
18. Принципи побудови одномірних систем екстремального керування.
19. Статичні та динамічні характеристики систем екстремального керування
20. Метод динамічного програмування Беллмана
21. Застосування методу динамічного програмування для вирішення завдань оптимізації
22. Основні поняття та визначення в теорії оптимальних і адаптивних систем.
23. Математичні методи опису динаміки систем.
24. Керованість та спостереженість об'єктів керування.
25. Критерії оптимізації.
26. Постановка задачі оптимального керування.
27. Характеристика критеріїв оптимізації.
28. Методи класичного варіаційного числення в задачах оптимізації.
29. Методи динамічного програмування.
30. Функціональне рівняння Р. Беллмана.
31. Задачі оптимізації при відсутності та наявності обмежень на керування
32. Приклади синтезу оптимальних систем.
33. Принцип максимуму Понтрягіна
34. Особливості розв'язку оптимізаційних задач за допомогою принципу максимуму при відсутності та наявності обмежень на керування.
35. Зв'язок динамічного програмування і принципу максимуму
36. Синтез оптимальних за швидкодією систем.
37. Особливості синтезу оптимальних за швидкодією систем.
38. Квазіоптимальні системи.
39. Термінальні системи та їх синтез.
40. Характеристика задач аналітичного конструювання оптимальних регуляторів (АКОР).
41. Розв'язок задач АКОР для заданої та довільної структури регулятора.
42. Застосування рівнянь Ріккати.
43. Системи екстремального керування.
44. Постановка задачі екстремального керування.
45. Статичні характеристики систем екстремального керування.
46. Динамічні характеристики систем екстремального керування.
47. Пошукові адаптивні систем..
48. Перспективні розвитку адаптивних систем.
49. Загальні поняття про адаптивних системах
50. Системи автоматичного управління з пасивною адаптацією
51. Системи автоматичного управління з двома ступенями свободи.
52. Системи, стійкі при нескінченному коефіцієнті посилення.
53. Алгоритми, які використовуються в самоналагоджувальних адаптивних системах керування.



54. Моделі, які використовуються в самоналагоджувальних адаптивних системах управління.
55. Системи з явною та неявною еталонними моделями
56. Застосування градієнтних методів при створенні адаптивних систем
57. Детерміновані обчислювальні алгоритми,
58. Методи статистичної оптимізації,
59. Алгоритми стохастичною апроксимації.
60. Автоколивальні які самостійно системи.
61. Самоналагоджувальна система зі стабілізацією частотних характеристик.
62. Системи з явною еталонною моделлю.
63. Алгоритми настройки параметрів в адаптивній системі з неявній еталонною моделлю. Приклад синтезу адаптивної системи з еталонною моделлю.
64. Сучасні тенденції і перспективи розвитку теорії адаптивних систем управління.
65. Робастні алгоритми.
66. Концепція багаторежимного керування.
67. Комбінування адаптивного і робастного керувань.
68. Типові структури багатошарової нейронної мережі.
69. Принцип максимуму Понтрягіна.
70. Принципи побудови одномірних систем екстремального керування.
71. Процедури аналітичного конструювання регуляторів
72. Рівняння Беллмана. ) і його застосування для вирішення завдань оптимізації
73. Системи рухомого керування
74. Рухоме керування орієнтацією космічних апаратів.
75. Методи синтезу оптимальних систем рухомого керування
76. Стійкість систем рухомого керування.