

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Систем управління літальних апаратів (№ 301)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
 Анатолій КУЛІК
(підпис) (ініціали та прізвище)

«25» серпня 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Сучасні методи побудови і моделювання систем управління
(назва навчальної дисципліни)

Галузі знань: 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Спеціальність: 173 «Авіоніка»

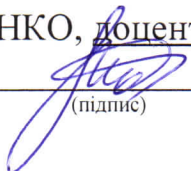
Освітня програма: Системи автономної навігації та адаптивного управління літальних апаратів

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2023 рік

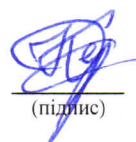
Розробник: Галина МІРОШНИЧЕНКО, доцент кафедри Систем управління літа-
льних апаратів (№)301


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Систем управління літа-
льних апаратів
(назва кафедри)

Протокол № 1 від «25» серпня 2023 р.

Завідувач кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Костянтин ДЕРГАЧОВ
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>Денна форма навчання</i>
Кількість кредитів – 5	Галузь знань: 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»	Обов'язкова навчальна дисципліна
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		
Індивідуальне завдання: «Моделювання та дослідження нескоригованої слідкуючої електромеханічної системи управління»	Спеціальність: <u>173 «Авіоніка»</u> (код і найменування)	2023/2024
		Семестр
		1 -й
		Лекції
Загальна кількість годин – 56/150 <i>кількість годин аудиторних занять* / загальна кількість годин</i>		24 год.
		Практичні –
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,5; самостійної роботи здобувача – 5,9	Освітня програма: Системи автономної навігації та адаптивного управління літальних апаратів	Лабораторні*
		32 год.
	Рівень вищої освіти: другий (магістерський).	Самостійна робота
		94 год.
		Вид контролю іспит

Співвідношення кількість годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить для денної форми навчання – 56/94.

*Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення – формування у студентів знань, навичок і умінь, необхідних для виконання дослідницьких і розрахункових робіт по створенню спеціальних (оптимальних, адаптивних та інтелектуальних) систем управління літальними апаратами на базі засобів обчислювальної техніки.

Завдання – отримання навичок і умінь, необхідних для виконання дослідницьких і розрахункових робіт по створенню спеціальних (оптимальних, адаптивних та інтелектуальних) систем управління літальними апаратами.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен *знати*:

- методи побудови оптимальних САУ;
- методи побудови адаптивних САУ;
- методи побудови інтелектуальних САУ;
- методи пошуку оптимального управління та оптимальних параметрів управляючих пристроїв;
- методи отримання еталонних та номінальних математичних моделей;
- методи синтезу адаптивних управляючих пристроїв;
- методи синтезу оптимальних систем за допомогою ЛКР.

вміти:

- ставити задачі оптимального управління;
- вирішувати задачі синтезу оптимальних систем управління;
- отримувати еталонні та номінальні моделі об'єктів управління та САУ;
- формувати та вирішувати задачі синтезу адаптивних управляючих пристроїв;
- формувати задачі синтезу САУ з нечіткими регуляторами;

Компетентності, які набуваються:

Занальні:

ЗК1. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК3. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК6. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Фахові:

ФК1. Здатність синтезувати і аналізувати оптимальні системи автоматичного керування.

ФК3. Здатність застосовувати комп'ютерні технології проектування і моделювання технологічних процесів літальних апаратів і систем авіоніки.

ФК9. Розв'язувати складні задачі і проблеми авіоніки в широких та мультідисциплінарних контекстах, у нових або не знайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної відповідальності.

Програмні результати навчання:

ПРН1. Відшукувати необхідні дані в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах, аналізувати науково-технічну літературу у вітчизняних та закордонних джерелах для визначення стану та пошуку

ПРН6. Аналізувати та синтезувати цифрові системи автоматичного керування.

ПРН7. Розробляти алгоритми керування рухом літальних апаратів.

ПРН9. Вміти описувати динамічні процеси летальних апаратів.

ПРН10. Будувати та досліджувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі систем авіоніки та інформаційних систем літальних апаратів та наземних комплексів з використанням відповідних методів та спеціалізованого програмного забезпечення.

Пререквізити:

Вища математика: диференційне та інтегральне обчислювання; дослідження функцій та побудова їх графіків; матриці; дії з комплексними числами в алгебраїчній та показовій формі; векторна алгебра.

Теорія автоматичного управління: опис САУ в просторі станів, принципи управління, передавальні функції САУ.

Цифрові системи автоматичного управління: цифрові САУ в часовій області.

Кореквізити:

Проектування автономних навігаційних систем (курсний проект).

Кваліфікаційна робота магістра.

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Оптимальні системи автоматичного управління.

Тема 1. Вступ до дисципліни «Сучасні методи побудови і моделювання систем управління». Аналіз розвитку сучасних систем управління. Класифікація сучасних СУ та їх загальна характеристика на сучасному етапі розвитку.

Тема 2. Поняття оптимального управління. Постановка завдання оптимального управління. Формальна постановка задачі оптимального управління. Критерії оптимальності.

Тема 3. Синтез оптимального управління за допомогою методу класичного варіаційного числення. Елементи класичного варіаційного числення. Окремий випадок завдання оптимального управління. Приклад синтезу оптимального управління за допомогою методу класичного варіаційного числення.

Тема 4. Рівняння стану в стандартній формі за оператором об'єкта управління. Рівняння стану в стандартній формі, отримані за оператором об'єкта управління. Структурна схема об'єкта управління.

Тема 5. Динамічні властивості САУ. Функціональна, принципова та алгоритмічна схеми систем управління. Рівняння динаміки основних елементів. Математична модель САУ у формі Коші.

Тема 6. Рівняння стану в стандартній формі для системи автоматичного управління третього порядку. Рівняння стану в стандартній формі для об'єкта управління (розімкнена слідкуюча система). Рівняння стану в стандартній формі для замкненої системи. Схема моделювання математичної моделі системи автоматичного управління.

Модульний контроль.

Змістовий модуль 2. Адаптивні та інтелектуальні системи.

Тема 7. Двомасова система автоматичного управління. Функціональна схема двомасової системи автоматичного управління. Основні рівняння динаміки двомасової системи управління. Векторно-матрична форма двомасової системи управління.

Тема 8. Трьохмасова система автоматичного управління. Функціональна схема трьохмасової системи автоматичного управління. Основні рівняння динаміки і алгоритмічна схема трьохмасової САУ. Векторно-матрична форма трьохмасової системи автоматичного управління.

Тема 9. Синтез оптимального регулятора двомасової системи автоматичного управління. Синтез оптимального регулятора на основі інтегрального квадратичного критерію якості. Структурна схема системи автоматичного управління з оптимальним регулятором. Комп'ютерні методики синтезу оптимальних регуляторів.

Тема 10. Адаптивні та екстремальні системи управління. Поняття про екстремальне управління. Характеристика об'єктів екстремального управління. Принципи побудови одновимірних екстремальних САУ. СЕУ з запам'ятовуванням екстремуму. Показники якості СЕУ з безінерційним об'єктом. Методи покращання роботи СЕУ.

Тема 11. Методологія проектування інтелектуальних систем. Основи теорії нечіткої логіки. Нечіткі множини та відношення.

Тема 12. САУ з нечіткими регуляторами. Основні терміни та визначення нечіткої логіки.

Модульний контроль.

Модуль 2. Індивідуальне завдання: розрахункова робота на тему «Дослідження слідкуючої електромеханічної системи управління».

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістовних модулів і тем	Кількість годин				
	Денна форма				
	Усього	У тому числі			
л		п	лаб	с.р.	
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовий модуль 1. Оптимальні системи автоматичного управління					
Тема 1. Вступ до дисципліни «Сучасні методи побудови і моделювання систем управління».	2	2	–	–	–
Тема 2. Поняття оптимального управління.	10	2	–	–	8
Тема 3. Синтез оптимального управління за допомогою методу класичного варіаційного числення	14	2	–	4	8
Тема 4. Рівняння стану в стандартній формі за оператором об'єкта управління.	13	2	–	4	7
Тема 5. Динамічні властивості САУ.	9	2	–	–	7
Тема 6. Рівняння стану в стандартній формі для системи автоматичного управління третього порядку.	13	2	–	4	7
Модульний контроль.	1	–	–	–	1
Разом за змістовним модулем 1	48	12	–	12	38
Змістовий модуль 2. Адаптивні та інтелектуальні системи.					
Тема 7. Двомасова система автоматичного управління.	12	2	–	4	6
Тема 8. Трьохмасова система автоматичного управління.	13	2	–	4	7
Тема 9. Синтез оптимального регулятора двомасової системи автоматичного управління.	12	2	–	4	6
Тема 10. Адаптивні та екстремальні системи управління.	13	2	–	4	7

Тема 11. Методологія проектування інтелектуальних систем.	9	2	–	–	7
Тема 12. САУ з нечіткими регуляторами. Основні терміни та визначення нечіткої логіки.	14	2	–	4	8
Модульний контроль	1	–	–	–	1
Разом за змістовним модулем 2	74	12	–	20	42
Усього годин	136	24	–	32	80
Модуль 2.					
Індивідуальне завдання: розрахункова робота на тему «Моделювання та дослідження слідкуючої електромеханічної системи управління».	14	–	–	–	14
Усього годин	150	24	–	32	94

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не заплановано	

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не заплановано	

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1	Дослідження системи стабілізації швидкості двигуна та побудова перехідних процесів системи	4
2	Дослідження системи автоматичного управління другого порядку за рівняннями стану в стандартній формі	4
3	Дослідження слідкуючої системи автоматичного управління за рівняннями стану в стандартній формі	4
4	Дослідження перехідних процесів двомасової системи автоматичного управління	4
5	Дослідження перехідних процесів трьохмасової САУ	4
6	Дослідження перехідних процесів двомасової системи автоматичного управління з оптимальним регулятором	4
7	Моделювання та дослідження скоригованої слідкуючої ЕМС 4-го порядку	4
8	Дослідження системи позиціонування ДПТ з нечітким регулятором	4
	Разом	32

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Принцип максимуму для автономних та неавтономних систем. Умови трансверсальності. Інтерпретація принципу максимуму. Оптимальне управління лінійним автономним об'єктом. (Тема 2).	8
2.	Принцип максимуму для систем програмного управління, оптимального за швидкодією. Теорема про число переключень. (Тема 3).	8
3.	Рекурентне співвідношення Беллмана. Зв'язок принципу максимуму Понтрягіна та динамічного програмування Беллмана (Тема 4).	7
4.	Синтез оптимального управління за допомогою методу динамічного програмування (Тема 5).	7
5.	Рівняння стану в стандартній формі для системи автоматичного управління четвертого порядку (Тема 6).	7
6.	Синтез системи автоматичного управління безпілотного літального апарату (Тема 7).	6
7.	Лінійна задача квадратичної оптимізації з незадалим кінцевим станом (Тема 8).	7
8.	Аналітичне конструювання регуляторів. Матричне нелінійне диференціальне рівняння Ріккати. Оптимальне управління з квадратичним критерієм якості. Приклад оптимізації за квадратичним критерієм. (Тема 9).	6
9.	САУ зі змінною структурою. Параметрично інваріантні компенсаційні системи управління. САУ з компенсацією еквівалентних збурень. Безпошукові САУ із самоналагоджуванням. Безпошукові САУ з еталонною моделлю. АСУ з оптимізацією якості. (Тема 10).	7
10	Використання сучасних ПД-контролерів у системах управління (Тема 11).	7
11	Архітектура та основні складові частини нейронних регуляторів. Особливості проектування та реалізації допоміжних систем (верхнього) нижнього рівня. Обмеження використання Навчання нейронних мереж. Структура системи. Алгоритм зворотного поширення помилки (Тема 12).	8
12	Модульний контроль 1.	1
13	Модульний контроль 2.	1
14	Індивідуальне завдання: розрахункова робота на тему «Моделювання та дослідження нескоригованої слідкуючої електромеханічної системи	14

Разом	94
--------------	-----------

9. Індивідуальні завдання

Розрахункова робота на тему «Моделювання та дослідження слідкуючої електромеханічної системи з використанням пакетів комп'ютерного моделювання.

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники), проведення олімпіад.

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю у вигляді захисту лабораторних робіт, захисту індивідуальних розрахунково-графічних робіт відповідно до змістових модулів і тем, фінальний контроль – у вигляді іспиту.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

Розподіл балів, які отримують студенти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...2	6	0...12
Виконання і захист лабораторних робіт	0...6	3	0...18
Модульний контроль	0...7	1	0...7
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...2	6	0...12
Виконання і захист лабораторних робіт	0...6	5	0...30
Модульний контроль	0...7	1	0...7
Модуль 2			
Виконання і захист РР	0...14	1	0...14
Усього за семестр			60...100

Білет для іспиту складається з теоретичних та практичних запитань. Наприклад:

1. Оптимальне управління. Максимальна кількість балів – 20.
2. Завдання: Дано нечіткі множини:

$$A = 0,5/x_1 + 0,3/x_2 + 0,9/x_3,$$

$$B = 0,8/x_1 + 0,2/x_2 + 1/x_3,$$

$$C = 0,1/x_1 + 0,2/x_2 + 0,8/x_3.$$

Знайти множини: $A \cup B$, $A \cap C$, \bar{A} , $A - B$.

Максимальна кількість балів – 40.

3. Визначити мінімально можливу втрату палива і час руху по оптимальній траєкторії об'єкта, який описується рівнянням: $\frac{d^2 y}{dt^2} = U$; при переводі його з початкового стану $y(0), \dot{y}(0)$ в кінцевий $y(t_k) = \dot{y}(t_k) = 0$; якщо $|U(t)| \leq 1$, А час t_k не задано. Завдання вирішити для значень $y(0) = 3; \dot{y}(0) = 3$;

Максимальна кількість балів – 40.

Під час складання семестрового іспиту здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

1. Відмінно (90–100 балів) виставляється студенту:

Який твердо знає: базові поняття і принципи, що відносяться до дисципліни. Захистив всі лабораторні завдання та індивідуальне завдання, виконав усі модульні завдання з оцінкою «відмінно», має тверді практичні навички роботи з середовищами комп'ютерного моделювання.

Вільно користується навчальною та науково-технічною літературою з питань дисципліни. Вміє логічно і чітко скласти свою відповідь, розв'язати лабораторне завдання. Зменшення кількості балів в межах оцінки можливе при неточних формулюваннях у відповідях на додаткові запитання, які були поставлені перед ним.

2. Добре (75–89 балів) виставляється студенту:

Який має достатньо глибокі знання з теоретичної частини дисципліни. Захистив всі практичні, лабораторні завдання та індивідуальне завдання, виконав усі модульні завдання з оцінкою «добре», має практичні навички роботи з пакетами комп'ютерного моделювання. Правильно розв'язує практичні завдання, його відповіді не є чіткими. Зменшення кількості балів в межах оцінки можливе при неповних відповідях на теоретичні або практичні запитання.

3. Задовільно (60–74 бали) виставляється студенту:

Який слабо володіє теоретичним матеріалом, має мінімум знань та умінь, допускає помилки у вирішенні практичних завдань. Захистив всі лабораторні завдання та індивідуальне завдання, виконав усі модульні завдання, має не впевнені практичні навички роботи з пакетами комп'ютерного моделювання. Зменшення кількості балів в межах оцінки можливе за неточні та неповні відповіді на теоретичні та практичні запитання.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	

0 – 59	Незадовільно	Незараховано
--------	--------------	--------------

13. Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки і завдання до виконання лабораторних робіт.
2. Методичні вказівки і завдання до виконання розрахункової роботи.

14. Рекомендована література

Базова

1. Mathematical modeling in the course «Modern methods of building and simulating of control systems» Miroshnychenko H., Chernyakov D., Kovalets S. // I Міжнародна науково-практична конференція «New ways of creating scientific ideas for implementation» Варна, Болгарія, 2023. – С. 214-218.
2. Мірошниченко Г.А. Математичне моделювання управління електроприводом / X Міжнародна науково-практична конференція «Priority directions of science and technology development», 13-15 червня 2021 р.: тези доп. – Київ, 2021. – С. 203-205.
3. Miroshnychenko H. Use of mathematical modeling for solving tasks of optimal control of an electric drive *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2022. – № 4. – pp. 46–51. (кат. Б). doi:10.32620/akt.2022.4.05.
4. Басова, А. Є. Методи синтезу систем автоматичної стабілізації та позиціонування [Текст]: навч. посібник / А. Є. Басова, А. С. Кулік, С. М. Пасічник, Н. М. Харіна. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 192 с.
5. Субота, А. М. Науково-дослідна робота магістрів [Текст] : навч. посіб. до практ. занять / А. М. Субота, В. Г. Джулгаков. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 112 с.

Допоміжна

Кулік А. С. Теорія автоматичного управління [Текст]: навч. посібник до лаб. робіт / А. С. Кулік, С. Н. Пасічник. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2020. – 108 с.

15. Інформаційні ресурс

Сайт кафедри 301: k301.khai.edu