Національна академія наук України

Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора

_____ “ 23 ” квітня 2025 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Математичні принципи теорії керування

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

спеціальність 113 Прикладна математика

2024/2025 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Математичні принципи теорії керування» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Розробники: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

Успенський Борис Валерійович, канд. техн. наук, ст. н. співр. відділу нелінійної мєханіки та математичного моделювання Інституту енергетичних машин і систем ім. А.М. Підгорного НАН України

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 23 квітня 2025 року, протокол № 4.

Програму схвалено на розширеному засіданні відділу нелінійної механіки та математичного моделювання.

Протокол № 1 від 21.04.2025 р.

Завідувач відділу

_____ Аврамов К. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-технічною проблемною радою «Математичне моделювання. Механіка деформованого твердого тіла. Динаміка і міцність машин. Магнетизм технічних об'єктів».

Протокол № 7 від 22.04.2025 р.

Заступник голови НТПР _____

_____ Максименко-Шейко К. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є навчання методам аналізу та синтезу автоматичних систем регулювання та керування.

Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна

Компетентності

ЗК8 Здатність виявляти, ставити і вирішувати проблеми

ЗК10 Знання і розуміння предметної області та розуміння професії

ЗК11 Здатність до абстрактного та аналітичного мислення й генерування ідей

ФК1 Здатність виявляти актуальні прикладні математичні проблеми і застосовувати поглиблені знання з прикладної математики

ФК3 Здатність застосовувати сучасні методи математичного моделювання і оптимізації для розв'язання задач прикладної математики

ФК5 Здатність на основі сучасних методів моделювання і оптимізації розробляти алгоритми розрахунку

ФК6 Здатність використовувати сучасні програмні засоби для розв'язання задач прикладної математики

ФК7 Здатність проводити обчислювальні експерименти з обробкою розрахункових даних і їх аналізом

ФК8 Здатність аналізувати та інтерпретувати результати розв'язання задач прикладної математики

Програмні результати навчання

ПРН1 Знати та критично оцінювати теорії, положення та концептуальні підходи до вирішення комплексних наукових і практичних завдань в галузі прикладної математики

ПРН6 Вміти використовувати сучасне програмне забезпечення для розв'язання задач прикладної математики з розподіленими параметрами

ПРН7 Вміти проводити розрахункові дослідження та аналізувати отримані чисельні результати

Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова освітня компонента	
Кількість кредитів	3
Рік підготовки	2-й
Семестр	1-й
Загальна кількість годин	90
Лекції	24 год.
Практичні заняття	6 год.
Індивідуальні заняття	__ год.
Самостійна робота	60 год.
Вид підсумкового контролю	залік

2. Зв'язок з іншими освітніми компонентами

Освітні компоненти, що передують вивченню:

ОК5 Сучасні методи обчислювальної математики

ОК7 Моделі та методи нелінійної динаміки

Освітні компоненти, які розвивають результати навчання за цією дисципліною:

немає

3. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу аспіранти повинні:

Знати: принципи побудови, дослідження та моделювання автоматичних систем керування з використанням ПЕОМ.

Вміти: використовувати теоретичний матеріал для розв'язання практичних задач; застосовувати ПЕОМ для моделювання та дослідження систем керування та робити висновки з проведених досліджень.

Розуміти: властивості та особливості систем автоматичного керування.

4. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Елементи класичної теорії автоматичного регулювання

Тема 1. Математичний опис керованих систем

Загальна структура та склад керованих систем. Статичні та динамічні характеристики елементів та систем. Передатна функція. Елементарні динамічні ланки та їх математичний опис. Типи з'єднань та їхні передатні функції. Еквівалентні структурні перетворення.

Тема 2. Часові та частотні характеристики елементів та систем

Типові вхідні сигнали систем керування. Часові характеристики систем за перехідною функцією. Способи їхнього отримання та використання для аналізу. Частотні характеристики елементів та систем: типи, способи отримання. Логарифмічні частотні характеристики елементів та систем.

Тема 3. Методи аналізу та забезпечення стійкості лінійних систем

Визначення стійкості та необхідні та достатні умови стійкості систем. Критерій Рауса-Гурвіца. Частотні критерії Міхайлова та Найквіста для визначення стійкості. Використання критеріїв для забезпечення стійкості систем.

Тема 4. Методи аналізу та корекції показників якості систем керування

Оцінки якості систем керування. Точність керування та її аналіз у різних режимах функціонування. Загальні та спеціальні методи її підвищення. Отримання оцінок швидкодії та запасу стійкості. Методи підвищення швидкодії та запасу стійкості у часовій та частотній області. Інтегральні оцінки якості та методи їх використання для синтезу систем керування.

Розділ 2. Сучасна теорія керування.

Тема 5. Опис систем за допомогою вектору стану та синтез регуляторів за принципом модального керування

Методи аналізу динаміки системи, що описана у термінах змінних стану. Керованість та спостережність систем. Постанова задачі синтезу керування. Пропорційний (П), пропорційно-диференційний (ПД), пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) регулятори. Методи синтезу та порівняння. Матрична передатна функція розімкнутої та замкнутої систем. Принцип модального керування. Метод стандартних коефіцієнтів. Алгоритм визначення коефіцієнтів зворотного зв'язку за методом модального керування. Властивості та обмеженість методу. Приклади моделювання керованого процесу.

Тема 6 Загальні моделі опису нелінійних систем та методи їхнього аналізу

Загальні визначення та структура нелінійної системи. Типи нелінійних елементів. Релейні елементи. Опис динаміки систем у вигляді системи диференціальних рівнянь. Метод фазової площини. Використання методу для аналізу стійкості в нелінійних системах. Види руху в нелінійних системах та особливості динаміки. Визначення автоколивань, параметри автоколивань. Метод зшивання рішень для аналізу динаміки в нелінійних системах. Метод крапкових перетворень та його використання для аналізу автоколивань.

Тема 7. Метод гармонійної лінеаризації (МГЛ) для дослідження динаміки у нелінійних системах

Принципи лінеаризації. Особливості гармонійної лінеаризації. Умови, за яких вона можлива. Основні формули методу гармонійної лінеаризації. Визначення коефіцієнтів лінеаризації для релейних елементів. Аналіз симетричних та несиметричних автоколивань за допомогою МГЛ. Засоби коректування параметрів коливань. Ефект вібраційного згладжування: його позитивні та негативні властивості. Дослідження примусових коливань в нелінійній системі за допомогою МГЛ.

Тема 8. Нечіткі системи керування

Нечітка множина. Способи завдання нечіткої множини. Носій нечіткої множини. Ядро нечіткої множини. Множина альфа-рівня. Висота нечіткої множини. Нормальна, субнормальна нечітка множина. Функція приналежності. Типові функції приналежності. Операції над нечіткими множинами. Нечітка змінна. Лінгвістична змінна. Система нечіткого виводу, база правил нечіткого виводу. Процедури фазифікації, агрегування, активізації, акумуляції та дефазіфікації в алгоритмі нечіткого виводу. Синтез нечіткого регулятора на основі процедури нечіткого виводу. Приклад та моделювання.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
Розділ 1. Елементи класичної теорії автоматичного регулювання							
Тема 1. ***Математичний опис керованих систем.***	5	2					3
Тема 2. ***Часові та частотні характеристики елементів та систем.***	8	4					4
Тема 3. ***Методи аналізу та забезпечення стійкості лінійних систем***	8	2	2				4
Тема 4. ***Методи аналізу та корекції показників якості систем керування***	8	2	2				4
Разом за розділом 1	29	10	4				15
Розділ 2. Сучасна теорія керування.							
Тема 5. ***Опис систем за допомогою вектору стану та синтез регуляторів за принципом модального керування***	16	4					12
Тема 6. ***Загальні моделі опису нелінійних систем та методи їхнього аналізу***	13	4					9
Тема 7. ***Метод гармонійної лінеаризації (МГЛ) для дослідження динаміки у нелінійних системах***	16	2	2				12
Тема 8. ***Нечіткі системи керування***	16	4					12
Разом за розділом 2	61	14	2				45
Усього годин	90	24	6				60

6. Самостійна робота

Метою самостійної роботи є навчитися користуватися навчально-методичними матеріалами, бібліотечними фондами, базами даних наукової літератури і інформаційними джерелами і іншими інформаційними джерелами, складати конспекти, аналізувати матеріал, порівнювати різні наукові концепції та робити висновки. Види самостійної

роботи студента: опрацювання лекційного матеріалу; опрацювання тем курсу, які виносяться на самостійне вивчення; виконання завдань для самостійної роботи, відвідування консультацій; підготовка до підсумкового контролю.

Теми для самостійного вивчення

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Вивчення можливостей пакету Scilab для візуального моделювання систем автоматичного керування	2
2	Порівняння П-, ПД- та ПІД регуляторів. Приклади моделювання керованого процесу.	2
3	Використання методу фазової площини для аналізу стійкості в нелінійних системах. Види руху в нелінійних системах та особливості їхньої динаміки.	3
4	Визначення коефіцієнтів лінеаризації для релейних елементів. Ефект вібраційного зглажування: його позитивні та негативні властивості. Дослідження примусових коливань в нелінійній системі за допомогою МГЛ.	4
5	Множина альфа-рівня. Висота нечіткої множини. Нормальна, субнормальна нечітка множина. Приклади та моделювання нечіткого регулятора.	4
6	Разом	15

Завдання для самостійної роботи

1. Побудувати модель одноконтурної системи автоматичного керування електропривода за допомогою системи Scilab; дослідити вплив зазорів у кінематичних парах на перехідний процес.

2. Побудувати модель нечіткого регулятора та ПІД-регулятора. Провести порівняння їхньої роботи в різних умовах та запропонувати межи застосування того чи іншого регулятора.

* за бажанням здобувача він може сам скласти перелік завдань для самостійної роботи, адаптувавши їх під своє наукове дослідження, за умови узгодження переліку і змісту завдань з викладачем і науковим керівником

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни застосовуються словесні, наочні та практичні методи навчання. Словесні та наочні методи навчання використовуються під час лекцій, самостійної роботи, консультацій, практичні – при здійсненні студентами самостійної роботи. Під час проведення лекцій та практичних занять використовуються такі словесні методи як розповідь і пояснення. До числа наочних методів, які застосовуються при викладанні дисципліни, належать: ілюстрація, демонстрація, робота із програмним комплексом Scilab.

8. Методи контролю

Поточний контроль теоретичних знань, що отримані здобувачем вищої освіти ступеня доктора філософії здійснюється шляхом усного опитування щодо засвоєння лекційного матеріалу та тем для самостійного вивчення, а також оцінювання виконання завдання для самостійної роботи.

Підсумковий контроль проводиться у вигляді диференційованого заліку.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота									Сума
Розділ 1				Розділ 2				Індивідуальне завдання	Разом	
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	Т8	20	100	100
10	10	10	10	10	10	10	10			

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

1. Знання основних понять, термінів та явищ, які розглядаються теорії керування та нечіткій логіці. Розуміння меж застосування методів та засобів теорії керування. 2. Уміння проводити симуляцію та аналіз систем керування за допомогою ПЕОМ. 3. Уміння інтерпретувати результати симуляції та будувати план варіативних розрахунків для вибору параметрів системи керування.

Бали поточного контролю за кожною темою складаються з оцінювання відповідей під час усного опитування щодо засвоєння лекційного матеріалу (1 – знання лише основних визначень та понять, 2 – розуміння властивостей об'єктів та методів їхнього аналізу та синтезу, 3 – розуміння меж застосування регуляторів та їхніх методів аналізу та синтезу), оцінювання ступені опрацювання матеріалу тем для самостійного вивчення (1 – знання основних понять та визначень, 2 – часткове розуміння матеріалу, 3 – досконале розуміння матеріалу) та оцінювання виконання завдання для самостійної роботи (1 – вміння провести симуляцію роботи системи керування та варіативні розрахунки за заданим планом, 2 – вміння побудувати стандартну систему керування з заданою структурою та запропонувати структуру системи керування, 3 – вміння пояснювати та інтерпретувати результати симуляції роботи системи керування, 4 – вміння розроблювати план варіативних розрахунків для дослідження властивостей системи, визначати межі застосування розробленої системи керування та проводити її параметричний синтез).

Критерії оцінювання індивідуального завдання (20 балів): Відсутність помилок в теоретичній частині – 10 балів; Коректність викладок – 4 бали; Послідовність викладок – 3 бали; Логічність викладок – 3 бали.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
50 – 100	Зараховано
0–49	Не зараховано

10. Рекомендоване методичне забезпечення

1. Конспект лекцій з дисципліни «Математичні принципи теорії керування» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика галузі знань 11 Математика та статистика (освітньо-наукова програма «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур») [Електронне видання] / Упоряд. Б. В. Успенський. Харків: ІЕМС НАН України, 2024. 28 с.

2. Методичні вказівки до виконання індивідуальних практичних завдань з дисципліни «Математичні принципи теорії керування» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика галузі знань 11 Математика та статистика (освітньо-наукова програма «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур») [Електронне видання] / Упоряд. Б. В. Успенський. Харків: ІЕМС НАН України, 2024. 17 с.

3. Методичні вказівки та перелік завдань для самостійної роботи з дисципліни «Математичні принципи теорії керування» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика галузі знань 11 Математика та статистика (освітньо-наукова програма «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур») [Електронне видання] / Упоряд. Б. В. Успенський. Харків: ІЕМС НАН України, 2024. 12 с.

Основна література

1. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – Київ: Либідь, 2007. – 656 с. Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=2709&forceview=1
2. Апостолюк В.О. Інтелектуальні системи керування. Конспект лекцій / В.О. Апостолюк, О.С. Апостолюк. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – 88 с. Режим доступу http://www.apostolyuk.com/files/books/ICS.pdf
3. Документація до комплексу Scilab.

Допоміжна література

4. Основи математичного моделювання [Текст]: Метод.вказівки до викон. лаборатор. Робіт для студентів напрямів підготов. 6.50803 „Акустотехніка” та 6.50903 „Телекомунікації” усіх форм навчання/ Укладачі: В. Б. Швайченко, Д.В. Тітков.,Ломакіна О.Ю. – К.: НТУУ „КПІ”, 2011. -82 с. Режим доступу http://titkov.ho.ua/_KPI_/6K/Metod/all_labs_Scilab_20130916.doc

Інформаційні ресурси

1. Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни на сайті ipmach.kharkov.ua
2. Мережа Internet.
3. Бібліотека ІЕМС НАН України.