

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра прикладної математики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету
математики і інформатики

Григорій ЖОЛТКЕВИЧ



2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Аналітичні методи нелінійної теорії керування

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

галузь знань 11- Математика та статистика

спеціальність 113 – Прикладна математика
(шифр і назва)

освітня програма прикладна математика
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором
(обов'язкова / за вибором)

факультет математики і інформатики

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету математики і інформатики

“29” серпня 2023 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: **Бєбія Максим Отарійович**, кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри прикладної математики

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету математики і інформатики на засіданні кафедри прикладної математики

“28” серпня 2023 року, протокол № 10

Завідувач кафедри Прикладної математики



(підпис)

Валерій КОРОБОВ

(ім'я та прізвище)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми (керівником проектної групи) Прикладна математика

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми

(керівник проектної групи) Прикладна математика



(підпис)

Світлана ІГНАТОВИЧ

(ім'я та прізвище)

Програму погоджено науково-методичною комісією факультету математики і інформатики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “29” серпня 2023 року, протокол № 1

Голова науково-методичної комісії факультету математики і інформатики



(підпис)

Ольга АНОЩЕНКО

(ім'я та прізвище)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни **“Аналітичні методи нелінійної теорії керування”**
складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки
магістр
(назва рівня вищої освіти)

Спеціальності (напряму) 113 - Прикладна математика

спеціалізації _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни “ Аналітичні методи нелінійної теорії керування ” є надання студентам необхідних знань для дослідження актуальних теоретичних та прикладних проблем в галузі сучасної теорії керування нелінійними системами.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є навчити студентів розв’язувати актуальні задачі керування для суттєво нелінійних систем різної природи.

1.3. Кількість кредитів – 6

1.4. Загальна кількість годин 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	–
Семестр	
3-й	–
Лекції	
18 год.	–
Практичні, семінарські заняття	
18 год.	–
Лабораторні заняття	
год.	–
Самостійна робота	
144 год.	–
у тому числі індивідуальні завдання	
–	–

1.6. Заплановані результати навчання

У результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати:

- умови стійкості та асимптотичної стійкості для каскадних систем та агрегованих каскадних систем;
- підходи до керування каскадними системами;
- нормальну форму нелінійної системи;
- умови відображуваності нелінійних систем на лінійні;
- методи побудови стабілізуючих керувань для різних класів нелінійних систем;
- метод функції керованості;
- методи дослідження нелінійних систем у критичному випадку;
- методи побудови адаптивних керувань;

вміти:

- досліджувати стійкість каскадних та агрегованих каскадних систем ;
- відображати нелінійні системи на системи у нормальній формі;
- досліджувати нормальні форми нелінійних систем;
- відображати трикутні та нетрикутні системи на лінійні ;
- рекурентно будувати стабілізуючі керування та функції Ляпунова для широких класів нелінійних систем ;
- будувати демпінговані керування для широких класів нелінеаризуємих систем ;
- будувати керування для нелінійних систем у критичному випадку;
- досліджувати задачу стабілізації за скінченний час для нелінійних систем;

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Стійкість та стабілізація каскадних та трикутних систем.

Тема 1. Стійкість каскадних систем.

Означення тотальної стійкості, теорема про тотальну стійкість.. Стійкість каскадних систем. Приклади.

Тема 2. Асимптотична стійкість каскадних систем.

Локальна асимптотична стійкість каскадних систем. Теорема Сонтага. Глобальна асимптотична стійкість та обмеженість траєкторій каскадних систем. Стійкість агрегованих каскадних систем.

Тема 3. Стабілізація каскадних та strict-feedback керованих систем.

Метод зворотного ходу. Покрокова побудова функцій Ляпунова та стабілізуючих керувань для каскадних та strict-feedback систем.

Тема 4. Трикутні системи.

Керованість та стабілізованість трикутних систем. Відображення трикутних систем на лінійні. Зв'язок між покроковою стабілізацією та лінеаризацією. Сингулярні трикутні системи.

Розділ 2. Керування афінними нелінійними системами.

Тема 5. Нормальна форма нелінійних систем.

Відносний порядок нелінійної системи. Нормальна форма нелінійної систем з одновимірним виходом. Теорем про зведення нелінійної системи до нормальної форми.

Тема 6. Стабілізація нелінійних систем з використанням нормальної форми.

Тема 7. Відображення нелінійних систем на лінійні.

Дужки Лі та їх властивості. Зв'язок між дужками Лі та відносним порядком системи. Теорема Фробеніуса. Критерій відображуємості нелінійних системи на лінійну. Зв'язок лінеаризуємості системи із керованістю системи першого наближення.

Тема 8. Демпінговане керування.

Стабілізація нелінеаризуємих систем. Стабілізація за допомогою демпінгового керування. Теорема Юржевича-Гуїна.

Тема 9. Керування нелійними системами у критичному випадку.

Системи із некерованим першим наближенням. Сингулярне рівняння Ляпунова. Синтез та стабілізація систем зі степеневими нелійностями. Метод функції керованості В.І. Коробова. Синтез та стабілізація по нелінійному наближенню у критичному випадку.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с. р.	л		п	лаб	інд	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Стійкість та стабілізація каскадних та трикутних систем.												
Тема 1. Стійкість каскадних систем.	14	2	2			10						
Тема 2. Асимптотична стійкість каскадних систем.	14	2	2			10						
Тема 3. Стабілізація каскадних та strict-feedback керованих систем.	24	2	2			20						
Тема 4. Трикутні системи.	24	2	2			20						
Разом за розділом 1	76	8	8			60						
Розділ 2. Керування нелійними нетрикутними системами.												
Тема 5. Нормальна форма нелінійних систем.	34	2	2			30						
Тема 6. Стабілізація нелінійних систем з використанням нормальної форми.	14	2	2			10						
Тема 7. Відображення нелінійних систем на лінійні.	18	2	2			14						

Тема 9. Демпінговане керування.	19	2	1		16						
Тема 11. Керування нелінійними системами у критичному випадку.	18	2	2		14						
<i>Контрольна робота</i>	1		1								
Разом за розділом 2	104	10	10		84						
Усього годин	180	18	18		144						

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Стійкість каскадних систем.	2
2	Асимптотична стійкість каскадних систем.	2
3	Стабілізація каскадних керованих систем. Трикутні системи.	2
4	Нормальна форма нелінійних систем.	2
5	Стабілізація нелінійних систем з використанням нормальної форми.	2
6	Відображення нелінійних систем на лінійні.	2
7	Зв'язок лінеаризуємості системи із керованістю системи першого наближення. Демпінговане керування.	2
8	<i>Контрольна робота.</i> Метод функції керованості В.І. Коробова.	2
9	Керування нелінійними системами у критичному випадку.	2
	Разом	18

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види , зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Виконання домашніх завдань за розділом «Стійкість та стабілізація каскадних та трикутних систем»	60
2	Виконання домашніх завдань за розділом «Керування афінними нелінійними системами»	84
	Разом	144

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені

7. Методи навчання

Лекції з використанням частково-пошукового методу, проблемні лекції, пояснення, розрахункові та пояснювально-ілюстративні методи при проведенні практичних занять.

8. Методи контролю

- перевірка виконання домашніх завдань, облік відвідування аудиторних або дистанційних занять;
- усне опитування;
- перевірка контрольної роботи;
- перевірка залікової роботи.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Залікова робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	Разом		
T1–T6	T7–T11					
25	25	10	---	60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

Поточний контроль, самостійна робота – до 50 балів,
контрольна робота – до 10 балів,
залікова робота – до 40 балів.

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку, або екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 10 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Шкала оцінювання: дворівнева

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
50-100	зараховано
1-49	не зараховано

Критерії оцінювання

Поточний контроль враховує активність під час практичних занять та правильність виконання домашніх завдань, за кожне з яких разом можна отримати до 4 балів.

Контрольна робота полягає у розв'язанні задачі керування суттєво нелінійною системою. Робота оцінюється максимум у 10 балів відповідно до правильності та повноти розв'язання. Якщо студент правильно знайшов ідею, але не довів розв'язок до кінця, він отримує 5-9 балів. За здійснення часткових кроків на шляху до розв'язання задачі студент отримує 1-4 бали.

Залікове завдання складається з двох теоретичних питань та однієї задачі. Кожне з теоретичних питань оцінюється максимум у 15 балів. Максимальну оцінку студент отримує, якщо демонструє розуміння основних концепції, сформулював та довів

відповідні твердження, навів приклади використання цих концепцій. Якщо студент не може довести відповідні твердження але розуміє їх сутність, він отримує максимум 10 балів. Якщо студент має поверхове розуміння базових понять і не може навести приклади їх використання, він отримує максимум 5 балів. Максимальна оцінка за задачу складає 10 балів. Незначні арифметичні помилки, які якісно не вплинули на результат, не впливають на кількість балів.

10. Рекомендована література

Основна література

1. M.O. Bebiya and V.I. Korobov. On Stabilization Problem for Nonlinear Systems with Power Principal Part, Journal of Mathematical Physics, Analysis, Geometry. – 2016. – Vol. 12, No. 2. – P. 113–133.
2. A. Bacciotti, L. Rosier. Liapunov functions and stability in control theory. – New York: Springer-Verlag, 2005. – 235 p.
3. V.I. Korobov, V.A. Skoryk. Synthesis of restricted inertial controls for systems with multivariate control, Journal of Mathematical Analysis and Applications. – 2002. – Vol. 275, P. 84–107.
4. N.K. Khalil. Nonlinear systems. – New Jersey: Prentice Hall, 2002.–750 p.
5. J.-M. Coron. Control and nonlinearity.– AMS, 2007.– 426 p.
6. Перестюк М.О., Чернікова О.С. Теорія стійкості. – К.: Київський національний ун-т імені Тараса Шевченка, 2012. - 103 с.
7. T.T. Tran . Feedback linearization and backstepping: an equivalence in control design of strict-feedback form. IMA J. Math. Control Inf. – 2020. – Vol. 37, P. 1049–1069.

Допоміжна література

1. A. Isidory. Nonlinear control systems: an introduction.– Berlin: Springer-Verlag, 1989.– 479 p.
2. A. Isidory. Nonlinear control systems II.– London: Springer-Verlag, 1999.– 293 p.
3. A. Zinober and D. Owens. Nonlinear and adaptive control: NCN4 2001. – Berlin: Springer-Verlag, 2003. – 398 p.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

<http://ua.bookfi.net/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_theory

https://en.wikipedia.org/wiki/Nonlinear_control