



# ТЕОРІЯ КЕРУВАННЯ. ЧАСТИНА 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

## Робоча програма курсової роботи (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>124 Системний аналіз</i>
Освітня програма	<i>Системний аналіз і управління</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3,5 кредит ECTS (лекції 36 год., практикум 18 год., СРС 51 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<a href="http://Rozklad.kpi.ua">http://Rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. кафедри ММСА, Романенко Віктор Демидович, romanenko.viktorroman@gmail.com Практичні: д.т.н., проф. кафедри ММСА, Романенко Віктор Демидович</i>
Розміщення курсу	<i>Google classroom на платформі</i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

*Дана дисципліна є однією з професійно-теоретичних дисциплін в освітній програмі «Системний аналіз і управління» першого (бакалаврського) рівня ВО.*

*Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здібностей:*

- розробки та використання динамічних моделей об'єктів і процесів керування в детермінованому і стохастичному середовищі;*
- застосування сучасних методів проектування (синтезу) лінійних систем керування в детермінованому середовищі та при випадкових збуреннях в дискретному часі;*
- застосування основних принципів керування складними процесами, які функціонують в декількох масштабах часу;*
- самостійного засвоєння нових методів дослідження (лінеаризації та стійкості нелінійних систем).*

Навчальна дисципліна «Теорія керування 2. Проектування систем керування» сприяє формуванню у студентів наступних загальних компетентностей (ЗК) і фахових компетентностей (ФК) та досягнення наступних програмних результатів навчання (ПРН):

**Загальні компетентності (ЗК):**

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК 01);
- здатність планувати і управляти часом (ЗК 02);
- здатність абстрактно мислити, застосовувати методи аналізу і синтезу (ЗК 03);
- здатність знати та розуміти предметну область і професійну діяльність (ЗК 04);
- здатність спілкуватися державною мовою усно і письмово (ЗК 05);
- здатність до адаптації та дії в новій ситуації (ЗК 09);
- здатність реалізовувати свої права та обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні, дотримуватися академічної доброчесності (ЗК 15).

**Фахові компетентності спеціальності (ФК):**

- здатність будувати математично коректні моделі статичних та динамічних процесів і систем із зосередженими та розподіленими параметрами із врахуванням невизначеності зовнішніх та внутрішніх факторів (ФК 03);
- здатність формулювати задачі оптимізації при проектуванні систем управління та прийняття рішень, а саме: математичні моделі, критерії оптимальності, обмеження, цілі управління; обирати раціональні методи та алгоритми розв'язання задач оптимізації та оптимального керування (ФК 05).

**Програмні результати навчання (ПРН):**

- знати основи теорії оптимізації, оптимального керування, теорії прийняття рішень, вміти застосовувати їх на практиці для розв'язування прикладних задач управління і проектування складних систем (ПРН 07);
- вміти створювати ефективні алгоритми для обчислювальних задач системного аналізу та систем підтримки прийняття рішень (ПРН 09).

## **2. Пререквізити та постреквізити виконання досліджень з теми курсової роботи**

Для вивчення і успішного засвоєння дисципліни є необхідним попереднє вивчення таких дисциплін: «Алгебра і геометрія», «Математичний аналіз», «Теорія ймовірностей», «Чисельні методи».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. АНАЛІЗ ТИПОВОГО КОНТУРУ ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ**

Тема 1.1. Дискретна передаточна функція замкненого контуру цифрового керування.

Тема 1.2. Типові алгоритми цифрового керування.

Тема 1.3 Аналіз стійкості дискретних систем керування.

## **Розділ 2. МЕТОДИ СИНТЕЗУ ДИСКРЕТНИХ РЕГУЛЯТОРІВ СТАНУ**

Тема 2.1. Синтез дискретних регуляторів стану по заданому характеристичному рівнянню замкненої системи.

Тема 2.2. Синтез дискретних з регуляторів стану з кінцевим часом установлення. Синтез модальних регуляторів стану.

Тема 2.3. Синтез оптимальних дискретних лінійно-квадратичних регуляторів стану. Проектування дискретних регуляторів із спостерігачами вектора змінних стану.

Тема 2.4. Безпосередній синтез цифрових регуляторів для моделей об'єкта типу «вхід-вихід». Регулятори зі спостерігачами стану.

## **Розділ 3. ТЕОРІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРИ ВИПАДКОВИХ ЗБУРЕННЯХ**

Тема 3.1. Дискретні авторегресивні моделі ARMA, ARMAX, ARIMA для описання динаміки стохастичних процесів типу «вхід-вихід». Стохастичні моделі у просторі стану. Марківські процеси першого порядку.

Тема 3.2. Основні положення теорії прогнозування та фільтрації. Синтез лінійно-квадратичного гауссівського регулятора стану.

Тема 3.3. Методи синтезу регуляторів з мінімальною дисперсією.

## **Розділ 4. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З РІЗНОТЕМПОВОЮ ДИСКРЕТИЗАЦІЄЮ**

Тема 4.1. Декомпозиція дискретної моделі об'єкта, який має властивість функціонування в двох масштабах часу на повільнодіючу та швидкодіючу підсистему. Проектування різномітпових регуляторів стану в детермінованому середовищі. Проектування різномітпових спостерігачів змінних стану в замкнених підсистемах керування.

Тема 4.2. Методика різномітпивої дискретизації сингулярно збурених систем, що функціонують в стохастичному середовищі у подвійному масштабі часу. Системний аналіз методів проектування різномітпових дискретних систем керування,

Тема 4.3. Різномітпове квантування неперервних систем і проектування складеного дискретного регулятора в подвійному масштабі часу.

## **Розділ 5. МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ НЕСТІЙКИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНИХ І ІМПУЛЬСНИХ ПРОЦЕСІВ КОГНІТИВНИХ КАРТ**

Тема 5.1. Імпульсні процеси в когнітивних картах складних систем.

Тема 5.2. Метод стабілізації нестійких імпульсних процесів в когнітивних картах на основі еталонних моделей.

Тема 5.3. Метод стабілізації нестійких імпульсних процесів в когнітивних картах на основі модального керування.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова література**

1. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: Підручник / В.Д. Романенко. - К.: Вища школа, 1995. – 519с.
2. Романенко В.Д. Теорія керування і прогнозування в складних системах: Підручник /В.Д. Романенко, Ю.Л. Мілявський. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка» 2024. -404с.

3. Бідюк П.І. Аналіз часових рядів: навч. посібник / П.І.Бідюк, В. Д. Романенко, О.Л. Тимощук. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. -600с.
4. Романенко В.Д. Теорія керування: методичні рекомендації для курсового проектування /В.Д. Романенко. -К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2012. -43с.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№	<i>Назва теми лекції та перелік основних питань</i>
1.	<i>Застосування методу заданого розміщення коренів характеристичного рівняння замкненої системи для синтезу дискретних регуляторів стану. Рекомендована література: [1]</i>
2.	<i>Аперіодичні регулятори стану. Проектування модального аналізатора, модального синтезатора та модального регулятора. Рекомендована література: [1]</i>
3.	<i>Теорема про синтез оптимальних дискретних лінійно-квадратичних регуляторів стану. Рекомендована література: [1]</i>
4.	<i>Проектування та аналіз спостерігачів змінних стану. Синтез матриці зворотного зв'язку спостерігача стану. Синтез матриці зворотного зв'язку спостерігача стану. Аналіз стійкості дискретних систем керування. Рекомендована література: [1,2]</i>
5.	<i>Методика безпосереднього синтезу регуляторів цифрового керування. Рекомендована література: [4]</i>
6.	<i>Динамічні характеристики дискретних регресивних моделей ARMA, ARMAX, ARIMA. Рекомендована література: [1,3].</i>
7.	<i>Стохастичні моделі динамічних процесів у просторі стану. Марківські процеси першого порядку. Математичне сподівання квадратичної форми. Рекомендована література: [5,6]</i>
8.	<i>Оптимальні регулятори з оцінкою стану при випадкових збуреннях. Алгоритм оцінки вектора стану. Теорема про фільтр Калмана. Рекомендована література: [1]</i>
9.	<i>Властивості фільтра Калмана. Принцип розділення. Теорема розділення про синтез лінійно-квадратичного гауссівського оптимального регулятора стану. Рекомендована література: [1]</i>
10.	<i>Синтез цифрових регуляторів за критерієм мінімізації узагальненої дисперсії для моделі об'єкта типу ARMA без запізнення. Рекомендована література: [5]</i>
11.	<i>Проектування різнотемпових регуляторів стану в детермінованому середовищі. Декомпозиція дискретної моделі об'єкта, який має властивість функціонування в двох масштабах часу, на повільнодіючу та швидкодіючу підсистеми. Паралельна стратегія проектування складеного дискретного регулятора. Рекомендована література: [8]</i>

12.	<i>Різнометпове квантування неперервних систем, які мають неявновиражену властивість функціонування в двох масштабах часу. Проектування складеного дискретного регулятора з різнометпвою дискретизацією. Рекомендована література: [8]</i>
13.	<i>Різнометпова дискретизація сингулярно збурених систем, які функціонують в стохастичному середовищі в подвійному масштабі часу. Рекомендована література: [8]</i>
14.	<i>Розробка математичних моделей типу «вхід — вихід» з різнометпвою дискретизацією на основі регресійних моделей AR, ARMA, ARMAX. Рекомендована література: [6]</i>
15.	<i>Імпульсні процеси в когнітивних картах складних систем. Принципи керування імпульсними процесами. Рекомендована література [2]</i>
16.	<i>Метод стабілізацій нестійких імпульсних процесів в КК на основі еталонних моделей. Рекомендована література [2]</i>
17.	<i>Метод стабілізації нестійких імпульсних процесів на основі модального керування. Рекомендована література [2]</i>

### **Практичні заняття**

Метою практичних занять є набуття студентами умінь з використання методів теорії керування для вирішення практичних задач.

<b>№</b>	<b>Назва теми заняття</b>
1.	<i>Розв'язання задач синтезу дискретного регулятора на основі заданого характеристичного рівняння замкненої системи.</i>
2.	<i>Розв'язання задачі безпосереднього синтезу цифрового регулятора.</i>
3.	<i>Математичні моделі випадкових процесів у дискретному часі. Процеси авторегресії і ковзного середнього з додатковим вхідним сигналом.</i>
4.	<i>Аналіз коваріаційної матриці <math>X(k+1)</math> марківського процесу першого порядку.</i>
5.	<i>Оцінювання вектора стану математичної моделі за допомогою спостерігача Люенбергера і фільтра Калмана.</i>
6.	<i>Розв'язання задачі синтезу дискретного регулятора за критерієм мінімуму узагальненої дисперсії для заданої моделі об'єкта типу ARMAX.</i>
7.	<i>Аналіз стійкості дискретних систем керування.</i>
8.	<i>Розв'язання задачі декомпозиції системи, яка має властивості функціонування в двох масштабах часу, на повільнодіючу і швидкодіючу підсистеми. Синтез різнометпвового регулятора.</i>
9.	<i>Модульна контрольна робота.</i>

### **6. Самостійна робота студента**

Головною метою надання студентам завдань для самостійної роботи є закріплення знань, оволодіння практичними уміньми та навичками при проектуванні дискретних систем керування шляхом розв'язання практичних задач. Завдання самостійної роботи студента полягає в написанні реферату, тематика якого охоплює декілька тем занять.

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Усі роботи (реферати) студенти мають розміщувати в особистому кабінеті гугл-класу. Дедлайни кожного завдання визначаються щотижнево в гугл-класі. Роботи мають бути виконані з дотриманням академічної доброчесності. У період роботи в дистанційному режимі лектор може запропонувати студентам пройти заплановані ним онлайн-курси на платформі Coursera.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Кредитний модуль включає одну модульну контрольну роботу за темами:

1. Синтез дискретних регуляторів стану по заданому характеристичному рівнянню замкненої системи.
2. Синтез матриці зворотного зв'язку спостерігача стану, безпосередній синтез цифрових регуляторів, дискретні регресивні моделі, марківські процеси.
3. Фільтр Калмана, регулятори з мінімальною дисперсією, проектування систем керування з різнометровою дискретизацією.

Головна мета проведення контрольної роботи — визначити рівень вмінь і навичок студентів щодо практичного використання методів проектування дискретних систем керування.

Тематика контрольних робіт охоплює всі основні розділи кредитного модуля і проводиться після відповідних практичних занять.

З метою поточного контролю знань і умінь студентів з окремих методів проектування дискретних систем керування рекомендується проведення контрольних робіт із усіх тем курсу. Рейтинг студента з кредитного модуля в шостому семестрі складається з балів, які ним отримано за:

- написання модульної контрольної роботи;
- роботу на практичних заняттях;
- відвідування лекцій і написання конспекту лекцій;
- відповіді на екзамені.

**Модульний контроль.** Ваговий бал — 40. Максимальна кількість балів за контрольні роботи дорівнює 40 балів.

Критерії оцінювання:

- вичерпні відповіді на всі питання (40 балів);
- у відповідях допущено незначних помилок (25 балів);
- у відповідях мають ся суттєві помилки (5 балів).

**Робота на лекціях:**

- присутність і написання конспекту упродовж лекції (0,2 бали);
- пропуск лекції без поважної причини (-1 бал).

**Робота на практичних заняттях:**

- присутність на практичних заняттях (0,2 бали);
- відповіді на практичних заняттях (2 бали).

**Штрафні та заохочувальні бали:**

відсутність на практичних заняттях без поважної причини (-2 бали);  
несвоєчасне виконання модульної контрольної роботи (-2 бали).

**Розмір шкали рейтингу (бали):**  $R = 100$

**Розмір стартової шкали (бали):**  $R_c = 60$

**Розмір залікової шкали (бали):**  $R_c = 40$

**Умови позитивної поточної атестації.** Для отримання оцінки «Атестовано» за першою поточною атестацією (8 тижень) студент має отримати не менше ніж 15 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів «ідеальний» студент має отримати 30 балів).

Для отримання оцінки «Атестовано» за другою поточною атестацією (14 тижень) студент має отримати не менше ніж 30 балів (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів «ідеальний» студент має отримати 60 балів).

**Умови допуску до заліку:**

відпрацювання всіх занять, написання модульної контрольної роботи, а також стартовий рейтинг більше 30 балів.

**Критерії з оцінювання заліку:**

вичерпні відповіді на всі питання залікового білету, а також на додаткові питання, чітке визначення всіх понять і величин (40 балів);

у деяких відповідях є певні неточності (35-30 балів);

допущено окремих помилок, але їх можливо виправити з допомогою викладача, є наявними знання основних понять і величин (20—15 балів);

допущено суттєвих помилок (5 балів).

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100...95	відмінно
94...85	дуже добре
84...75	добре
74...65	задовільно
64...60	достатньо
менше 60	незадовільно
Не виконані умови допуску	не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ, ЯКІ ВІНОСЯТЬСЯ НА СЕМЕСТРОВИЙ КОНТРОЛЬ (ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ)

1. Синтез дискретних регуляторів стану на основі заданого розміщення коренів характеристичного рівняння замкненої системи.
2. Проектування модальних регуляторів стану.
3. Синтез оптимальних дискретних лінійно-квадратичних регуляторів стану.
4. Синтез матриці зворотного зв'язку спостерігача стану.
5. Безпосередній синтез регуляторів для об'єктів першого порядку.

6. Марківські процеси першого порядку. Розрахунок коваріаційної матриці  $X(k+1)$  марківського процесі першого порядку.
7. Синтез дискретного регулятора за критерієм мінімуму узагальненої дисперсії.
8. Фільтр Калмана.
9. Синтез лінійно-квадратичного гауссівського оптимального регулятора стану.
10. Декомпозиція дискретної моделі об'єкта на повільнодіючу і швидкодіючу підсистеми.
11. Синтез регулятора стану з різномовною дискретизацією.
12. Аналіз стійкості дискретних систем керування. Аналог критерію Михайлова.
13. Аналіз стійкості дискретних систем у формі  $z$ -перетворення. 14. Проектування спостерігачів стану з різномовною дискретизацією.
15. Аналіз стійкості дискретних систем у стохастичному середовищі.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** д.т.н., проф. Романенко В.Д.

**Ухвалено** кафедрою математичних методів системного аналізу (протокол № 13 від 05.06.2024)

**Погоджено** Методичною комісією ІПСА (протокол № 10 від 24.06.2024)