

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра Інформаційних технологій



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### **ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

ОПП «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»  
спеціальність: 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані  
технології»  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Львів 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни *Теорія автоматичного керування* для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Розробники: к.т.н., доц. Лиса О.В.



Робочу програму схвалено на засіданні кафедри «Інформаційних технологій».

Протокол: №1 від 28 серпня 2023 року.

Завідувач кафедри Інформаційних технологій



(підпис)

(Тригуба А.М.)

(прізвище та ініціали)

Робочу програму схвалено на засіданні методичної комісії (ради) факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій.

Протокол: №1 від 30 серпня 2023 року.

Голова методичної комісії факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій.



(підпис)

(Ковалишин С.Й.)

(прізвище та ініціали)

## 1. Опис навчальної дисципліни

### Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування  
(шифр і назва)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Характеристика навчальної дисципліни:

Нормативна

Кількість кредитів 8

Загальна кількість годин – 240

Індивідуальне науково-дослідне завдання Курсова робота  
(назва)

Вид контролю: іспит

Тижневих аудиторних годин для денної форми навчання – 3 та 4

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить (%):

для денної форми навчання – 80

для заочної форми навчання – 20.

## 2. Програма навчальної дисципліни

Семестр – 5.

### Тема 1. Загальні відомості про системи автоматичного керування.

Сутність проблеми автоматичного керування. Історичні етапи розвитку автоматики, теорії автоматичного керування. Система автоматичного керування та її елементи. Система автоматичного регулювання. Принципи автоматичного керування. Види систем автоматичного керування. Елементи САК та їх особливості. Зворотні зв'язки в системах автоматичного регулювання.

### Тема 2. Основні завдання та властивості теорії автоматичного керування.

Теорія автоматичного керування і регулювання. Статика систем автоматичного регулювання. Умови статичної рівноваги і статичні характеристики ланок. Статична похибка і коефіцієнт передачі (підсилення). Форми записи рівнянь статички. Динаміка систем автоматичного регулювання. Завдання й особливості загальної методики дослідження. Лінеаризація нелінійних рівнянь. Форми запису рівнянь динаміки. Приклади складання рівнянь ланок. Коефіцієнт самовирівнювання та його вплив на характер перехідних процесів. Рівняння машини-двигуна з одним ступенем свободи.

### **Тема 3. Математичний опис лінійних неперервних систем автоматичного керування**

Типові елементи (ланки) систем автоматичного керування. Приклад складання рівняння тиристорного перетворювача (підсилювача) як ланки із запізненням. Передаточні функції та частотні характеристики. Передаточні функції та частотні характеристики типових ланок. Приклади побудови. Загальні відомості про частотні характеристики. Рівняння динаміки, передаточні функції і амплітудно-фазові частотні характеристики груп ланок при різному їх з'єднанні. Логарифмічні частотні характеристики. Мінімально- та немінімально-фазові ланки. Рівняння, передаточні функції та частотні характеристики систем автоматичного керування. Приклад знаходження рівняння динаміки системи стабілізації напруги генератора постійного струму. Рівняння і передаточні функції автоматичних слідкувальних (програмних) систем. Приклад знаходження рівняння динаміки слідкувальної системи. Структурні схеми та їх перетворення. Графи та їх використання в теорії автоматичного керування. Багатовимірні системи та метод змінних стану.

### **Тема 4. Стійкість лінійних систем автоматичного керування.**

Поняття стійкості САК. Стійкість за Ляпуновим. Дослідження і аналіз стійкості за коренями характеристичного рівняння. Алгебраїчні критерії стійкості. Частотні критерії стійкості. Критерій Михайлова. Дослідження стійкості за допомогою побудови зон стійкості (метод D-розбиття). Критерій стійкості Найквіста. Критерій Найквіста у логарифмічній формі. Дослідження стійкості систем із запізненням. Структурно-нестійкі системи і коректувальні ланки.

### Семестр – 6.

### **Тема 5. Якість лінійних неперервних систем автоматичного керування та методи їх оцінки.**

Загальні відомості про якість САК. Дослідження якості на основі рівняння незбурених коливань. Наближені методи оцінки якості. Чутливість САК.

### **Тема 6. Підвищення якості та синтез лінійних систем автоматичного регулювання.**

Помилки в САР. Типові режими роботи і знаходження помилок САР. Основні шляхи підвищення точності керування. Замикання системи. Типові закони регулювання. Введення астатизму і регулювання за похідними. Точність САР в усталених динамічних режимах. Підвищення точності САР на основі принципи інваріантності. Підвищення якості в комбінованих САР і системах зі змінною структурою. Використання неединичних зворотних зв'язків і масштабування. Технічна реалізація коректувальних пристроїв у схемах автоматизованого електропривода. Способи підвищення запасу стійкості. Синтез коректувальних пристроїв методом ЛАХ. Послідовна корекція з підпорядкованим регулюванням координат. Модальне керування. Керованість і спостережуваність.

### **Тема 7. Випадкові процеси в системах автоматичного керування.**

Уявлення про випадкові процеси. Характеристики стаціонарних випадкових процесів. Спектральна щільність стаціонарних випадкових процесів. Проходження стаціонарного випадкового сигналу через лінійну САК. Розрахунок точності САК за середньоквадратичною похибкою. Синтез лінійних САК за мінімумом середньоквадратичної похибки.

### **Тема 8. Нелінійні системи автоматичного керування.**

Типові нелінійності. Математичні моделі нелінійних систем. Стійкість та особливості динаміки нелінійних систем. Дослідження нелінійних систем методом фазової площини. Метод Ляпунова. Абсолютна стійкість. Критерій В.-М. Попова. Метод точкового перетворення. Метод гармонічної лінеаризації. Дослідження автоколивань методом гармонічної лінеаризації.

### **Тема 9. Оцінка якості, кореляція і синтез систем автоматичного керування.**

Оцінка якості нелінійних САК. Загальні відомості про методи синтезу коректувальних пристроїв у нелінійних системах. Синтез лінійних коректувальних пристроїв у нелінійних системах методом ЛАХ. Корекція релейних систем за рахунок утворення ковзних режимів. Нелінійні коректувальні ланки. Компенсація впливу нелінійностей.

### **Тема 10. Дискретні системи автоматичного керування.**

Уявлення про дискретні системи. Класифікація дискретних систем. Класифікація імпульсних САК за видами модуляції. Математичне описання імпульсного елемента систем з АІМ. Математичний апарат для дослідження імпульсних САК. Передаточна функція розімкнутої імпульсної системи. Передаточна функція замкнутої імпульсної системи. Частотні характеристики імпульсних систем. Стійкість імпульсних систем. Якість імпульсних систем. Корекція імпульсних систем. Цифрові системи автоматичного керування. Синтез цифрових коректувальних пристроїв методом ЛАХ.

### **Тема 11. Оптимальні системи автоматичного керування.**

Завдання оптимального керування. Методи класичного варіаційного числення. Принцип максимуму. Теорема про  $n$  інтервалів. Динамічне програмування. Аналітичне конструювання оптимальних регуляторів. Застосування методу динамічного програмування для синтезу дискретних (цифрових) регуляторів.

### **Тема 12. Адаптивні системи автоматичного керування.**

Загальні відомості про адаптивні САК. Системи екстремального керування. Динаміка екстремальних систем. Ідентифікація об'єктів керування. Принципи

побудови безошукових адаптивних систем. Адаптивні спостерігачі. Адаптивні системи з еталонною моделлю.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви 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
	<b>Семестр 5</b>						<b>Семестр 5</b>					
Тема 1.	20	4	2	2		12	20	2	1	1		16
Тема 2.	22	4	2	4		12	22	2	2	2		16
Тема 3.	26	4	6	4		12	26	2	2	2		20
Тема 4.	22	2	4	4		12	22	2	1	1		18
<i>Іспит</i>	30	-	-	-	-	30	30	-	-	-	-	30
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>120</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
	<b>Семестр 6</b>						<b>Семестр 6</b>					
Тема 5.	7	2	2	2		1	7	1		1		5
Тема 6.	7	2	2	2		1	7	1	1			5
Тема 7.	8	2	2	2		2	8	1	1	1		5
Тема 8.	8	2	2	2		2	8	1	1	1		5
Тема 9.	8	2	2	2		2	8	1		1		6
Тема 10.	8	2	2	2		2	8	1	1			6
Тема 11.	7	2	2	2		1	7	1	1	1		4
Тема 12.	7	2	2	2		1	7	1	1	1		4
<i>Іспит</i>	30	-	-	-	-	30	30	-	-	-	-	30
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>		<b>42</b>	<b>90</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>		<b>70</b>
<b>Індивідуальні завдання</b>												
<i>КР</i>	30	-	-	-	30	-	30	-	-	-	30	-
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>30</b>	<b>70</b>
<b>Разом годин</b>	<b>240</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>120</b>	<b>240</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>170</b>

### 4. Теми лабораторно-практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість, год.
<i>Семестр 5</i>		
1	Побудова математичних моделей електричних аналогів типових ланок.	2
2	Знаходження параметрів типових ланок за кривими розгону	2

3	Знаходження математичних моделей елементів систем автоматичного регулювання на основі експериментальних кривих розгону.	6
4	Дослідження частотних характеристик типових ланок на електричних схемах.	4
5	Дослідження перехідних процесів та частотних характеристик основних з'єднань елементів.	6
6	Визначення та розрахунок частотних характеристик елементів САР та їх з'єднань. Побудова логарифмічних частотних характеристик	4
7	Знаходження функцій передачі типових з'єднань ланок. Еквівалентні перетворення структурних схем динамічних систем. Побудова структурної схеми на основі функціональної схеми САР заданого технологічного параметра. Знаходження математичної моделі САР на основі моделей її елементів	4
<b>Семестр 6</b>		
8	Дослідження стійкості САР за алгебраїчними критеріями Гурвіца, Рауса. Аналіз стійкості САР за частотними критеріями стійкості Найквіста, Михайлова.	4
9	Структурні перетворення та дослідження систем автоматичного регулювання.	4
10	Дослідження стійкості лінійних систем автоматичного регулювання	4
11	Визначення стійкості САР за логарифмічними частотними характеристиками.	4
12	Розрахунок параметрів настроювання автоматичних регуляторів з умови стійкості САР.	4
13	Розрахунок та дослідження лінійних систем автоматичного регулювання.	4

### 5. Теми винесені на самостійне вивчення:

№ з/п	Назва теми
1	Показники якості САК
2	Математичний опис реальних елементів САК (двигунів, безпілотників, генераторів)
3	Алгебраїчні критерії стійкості (Рауса, Ляпунова)
4	Критерій Найквіста, Михайлова.
5	Логарифмічні частотні характеристики
6	Статистичні методи дослідження САК.
7	Метод гармонійної лінеаризації.

**6. Індивідуальні завдання:**

*Тема(и) курсових робіт, завдання - .*

**Курсова робота:**

- 1 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в хімічному реакторі.
- 2 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання розрідження у випарному апараті.
- 3 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання перепаду тиску на пристрої звуження (соплі)
- 4 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температура замісу у чанку замісу при виробництві етилового спирту.
- 5 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури сушильного агента в сушарці киплячого шару.
- 6 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в дозаторі води для замішування опари.
- 7 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в хлібопекарній печі
- 8 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання відстійника для очистки стічних вод
- 9 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання сушіння солоду у виробництві пива.
- 10 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в реакторі-полімеризаторі поліпропілену.
- 11 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в кристалізаторі адипінової кислоти.
- 12 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в підігрівачі мазуту.
- 13 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання рівня в реакторі.
- 14 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання розрідження в сушарці киплячого шару
- 15 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання витрати конденсату парової турбіни
- 16 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури верху ректифікаційної колони
- 17 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури сушильного агента стрічкової сушарки
- 18 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання рівня в абсорбційній колоні
- 19 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в сушарці киплячого шару
- 20 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання розрідження в барабанній сушарці
- 21 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в прямооточній сушарці
- 22 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в струменевій сушарці в зоні висушування сухого молока
- 23 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання осушування природного газу
- 24 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в тістомісильній машині



- 25 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в першій зоні хлібопекарської печі
- 26 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури у виробництві хлібопекарних дріжджів
- 27 Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання тиску у ректифікаційній колоні абсолютного спирту.

Завдання.

1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання.
  - 1.1. Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів.
  - 1.2. Перевірка адекватності динамічної моделі.
  - 1.3. Зведення моделі до безрозмірної форми.
2. Розрахунок параметрів настроювання автоматичних регуляторів.
  - 2.1. Вибір схеми автоматичного регулювання і вибір регулятора за законом регулювання.
  - 2.2. Теоретичні основи методу розрахунку параметрів настроювання автоматичних регуляторів.
  - 2.3. Знаходження оптимальних настроювальних параметрів регулятора.
  - 2.4. Уточнення структурної схеми САР, законів регулювання регуляторів і їх параметрів настроювання.
3. Дослідження перехідних процесів САР.
  - 3.1. Моделювання і дослідження перехідних процесів САР при заданих збуреннях.
  - 3.2. Визначення показників якості одержаних перехідних процесів САР.

Вихідними даними для виконання курсової роботи є:

1. Заданий технологічний об'єкт, задане значення регульованої величини, значення збурень, при яких досліджувався технологічний об'єкт.
2. Криві розгону або імпульсні перехідні характеристики об'єкта регулювання, отримані зміною регулюючої дії, зміною основних збурень або зміною завдання регулятора в замкнутій САР.
3. Вимоги до якості процесу регулювання.

## 7. Методи навчання:

**1. Словесні методи** (розповідь, пояснення, бесіда, лекція).

**2. Наочні методи:**

- ілюстрація (картинки, таблиці, моделі, муляжі, малюнки тощо);
- демонстрування: навчальне відео чи його фрагменти; інтерактивні презентації; експеримент, спостереження, досліди та аналіз результатів тощо.

**3. Практичні методи:** досліди, вправи, самостійна робота. Лабораторні та практичні роботи, розрахункові, реферати.

## 8. Очікувані результати навчання з дисципліни:

Очікуваними результатами навчання з дисципліни «Теорія автоматичного керування» є набуття студентами **загальних компетентностей** – здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. **Фахових компетентностей** – здатність застосовувати знання математики, в обсязі, необхідному для використання математичних методів для аналізу і синтезу систем автоматизації; здатність виконувати аналіз об'єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування; здатність вільно користуватись сучасними комп'ютерними та інформаційними технологіями для вирішення професійних завдань, програмувати та використовувати прикладні та спеціалізовані комп'ютерно-інтегровані середовища для вирішення задач автоматизації.

Програмні результати навчання:

- за загальною підготовкою – знати та використовувати методи фундаментальних наук для розв’язання та професійних завдань.

- за фаховою підготовкою – вміти застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування; вміти використовувати різноманітне спеціалізоване програмне забезпечення для розв’язання типових інженерних задач у галузі автоматизації, зокрема, математичного моделювання, автоматизованого проектування, керування базами даних, методів комп’ютерної графіки.

### 9 Методи контролю:

**1. Усне опитування** (фронтальне, індивідуальне детальний аналіз відповідей студентів).

**2. Письмова аудиторна та поза аудиторна перевірка** (розрахункові, вирішення задач і прикладів, виконання графічних матеріалів, схем, підготовка різних відповідей, рефератів, контрольні роботи тощо).

**3. Практична перевірка** (проведення різних вимірів, збір, систематизація та опрацювання складання, налагодження, розробка документації, виконання практичної роботи, аналіз виробничої інформацію, рішення професійних завдань, ділові ігри і т.д.

**4. Стандартизований контроль** (тести, контрольна робота).

*Види контролю:* Поточний контроль, проміжна та семестрова атестація.

### 10. Розподіл балів, які отримують студенти

#### Семестр 5

Поточне тестування та самостійна робота (разом 50 балів)				Підсумко-вий тест (іспит)	Сума
T1	T2	T3	T4	50	100
7	11	18	14		

T1, T2 ... T4 – теми лабораторно-практичних робіт.

#### Семестр 6

Поточне тестування та самостійна робота (разом 50 балів)								Підсумко-вий тест (іспит)	Сума
T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	50	100
6	6	6	7	6	6	6	7		

T5, T6 ... T12 – теми лабораторно-практичних робіт.

### 11. Методичне забезпечення

Навчально-методичні матеріали до семінарських, практичних і лабораторних занять; підручники і навчальні посібники; індивідуальні навчально-дослідні завдання; контрольні роботи; текстові та електронні варіанти тестів для поточного і підсумкового контролю, методичні матеріали для організації самостійної роботи студентів.

### 12. Рекомендована література

### **Основна**

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
2. Phillips C., Harbor R. Feedback control systems, Prentice-Hall, 2000, 658 p.
3. Теорія автоматичного керування : Частина I : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 182 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/770>.
4. Теорія автоматичного керування : Частина II : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 165 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2209>.
5. Control System Toolbox. User's Guide, The MathWorks, Release 2009b, 2009
6. Б.Б. Самотокін. Курс лекцій з теорії автоматичного керування. — Житомир: ЖІТІ, 1997.
7. Л.М. Артюшин, О.А. Машков, Б.В. Дурняк, М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
8. Лиса О. В. Моделювання системи автоматичного регулювання температури хлібопекарської печі Збірник наукових праць VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 «Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів» Луцьк, УКРАЇНА 28-30 травня 2022 року с.77-78.
9. Лиса О.В., Мідик А.-В.В. Віддалене адміністрування роботою групи теплиць. Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» Луцьк, УКРАЇНА 20-22 жовтня 2022 року с.46.

### **Допоміжна**

1. <http://www.google.com.ua> - пошуковий сайт

## **13. Інформаційні ресурси**

1. Бібліотечно-інформаційні ресурси – книжковий фонд, періодика та фонди на електронних носіях бібліотеки ЛНУП, державних органів науково-технічної інформації, наукових, науково-технічних бібліотек та інших наукових бібліотек України.