


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра технічного сервісу**

**«Затверджую»**

**Завідувач кафедри  
«Технічний сервіс»**

**« 21 » 08 2020 р.**

 **(В.Б.Тарельник)**

**Оптимальні та адаптивні системи**

**Спеціальність: для аспірантів спеціальності  
133 «Галузеве машинобудування»**


**Факультет: *Інженерно-технологічний факультет***

**2020 – 2021 навчальний рік**

Робоча програма з дисципліни «*Оптимальні та адаптивні системи*» для аспірантів спеціальності *133 «Галузеве машинобудування»*.


Розробники: Кирик Г.В., д.т.н., доцент Коноплянченко Є.В., к.т.н., доцент

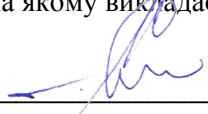
Робочу програму схвалено на засіданні кафедри *технічного сервісу*.  
Протокол від «15» червня 2020 року № 14


Завідувач кафедри технічного сервісу  (Тарельник В.Б.)

**Погоджено:**

Гарант освітньої програми  (Є.В. Коноплянченко)

Декан факультету  (М.Я. Довжик)  
на якому викладається дисципліна

Декан факультету  (М.Я. Довжик)  
до якого належить кафедра

Методист відділу якості освіти, ліцензування та акредитації 

Зареєстровано в електронній базі: дата: 21.08.2020 р.

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»	<b>Вибіркова</b>
Модулів – 2	Напрямок підготовки: Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»	<b>Рік підготовки:</b> 2020-2021
Змістових модулів: 2		<b>Курс</b> 2
Індивідуальне науково-дослідне завдання:		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин - <b>120</b>		4-й
		<b>Лекції</b>
		44 год.
		<b>Практичні</b>
	44 год.	
	<b>Лабораторні</b>	
	-	
	<b>Самостійна робота</b>	
	32 год.	
	<b>Індивідуальні завдання:</b>	
	-	
	Вид контролю: <b>залік</b>	

### Примітка.

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

для денної форми навчання - 73/27 (88/32)

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета:** вивчення принципів створення систем оптимального та адаптивного управління, алгоритмів їх функціонування та методів оптимізації.

**Завдання:** отримання аспірантами, наукові дослідження яких пов'язані з *механотронікою*, практичних навичок та теоретичних знань у наступних питаннях: вивчення методів оптимізації систем автоматичного управління та об'єктів управління; опанування методиками формулювання задач оптимізації і використання засвоєних методів для їх розв'язання; набуття знань, умінь і навичок розробки систем оптимізації, оптимального й адаптивного управління.

Згідно затвердженої освітньо-наукової програми та навчального плану підготовки докторів філософії галузі знань 13 «Механічна інженерія», спеціальності «Галузеве машинобудування» вивчення дисципліни «Оптимальні та адаптивні системи» забезпечує:

### - формування загальних компетенцій:

**ЗК2.** Здатність до критичного аналізу та оцінювання сучасних наукових досягнень, синтезу цілісних знань, комплексного вирішення проблем

**ЗК3.** Здатність до абстрактного креативного мислення, виявлення, отримання, систематизації, синтезу й аналізу інформації з різних джерел із застосуванням сучасних інформаційних технологій у науковій діяльності.

**ЗК4.** Здатність планувати і здійснювати комплексні дослідження на сучасному рівні з використанням новітніх інформаційних і комунікаційних технологій та дотриманням параметрів безпечної діяльності на основі цілісного системного наукового світогляду з використанням знань в області історії і філософії науки.

### - формування спеціальних (фахових, предметних) компетенцій

**СК1.** Знання сучасних тенденції розвитку і найбільш важливі нові наукові досягнення в області галузевого машинобудування, а також у суміжних галузях

**СК2.** Фундаментальне наукове пізнання класичного та сучасного інструментарію дослідження явищ та процесів у галузевому машинобудуванні.

**СК3.** Здатність інтегрувати знання з інших дисциплін, застосовувати системний підхід та враховувати природничі і високотехнологічні процеси при розв'язанні інженерних задач та проведенні досліджень.

**СК7.** Здатність виявляти та розуміти причинно-наслідкові зв'язки між досліджуваними процесами та вихідними характеристиками об'єкту дослідження, ідентифікувати та оцінювати фактори впливу.

### - програмні результати навчання:

**ПРН3.** Генерувати власні ідеї, приймати обґрунтовані рішення, розуміти та визначати мету власного наукового дослідження.

**ПРН4.** Володіти методами статистичного оброблення отриманих результатів наукових досліджень з використанням сучасних інформаційних технологій.

**ПРН8.** Уміти проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових наукових положень та ідей щодо галузевого машинобудування.

**ПРН9.** Бути здатним приймати обґрунтовані рішення, саморозвиватися і самовдосконалюватися, нести відповідальність за достовірність і новизну власних

наукових досліджень та прийняття рішень, вміти мотивувати співробітників рухатися до спільної мети.

**ПРН12.** Проводити професійну інтерпретацію отриманих результатів досліджень, в тому числі з використанням сучасного програмного забезпечення.

**ПРН15.** Використовувати сучасні інформаційні та комунікативні технології під час спілкування, обміну інформацією, збору, аналізу, оброблення, інтерпретації різних джерел.

**ПРН18.** Планувати створення інноваційних об'єктів та управляти ними протягом їх життєвого циклу.

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### Змістовний модуль 2. *Оптимальні системи.*

**Тема 1. Класифікація та характеристика технологічних процесів як об'єктів управління.**

Основні поняття і визначення. Класифікація систем управління і контролю. Варіаційні методи в теорії оптимального управління. CALS технології для керування та контролю машинобудівного виробництва. ERP. Огляд існуючих систем. CALS технології MRP рівень.

**Тема 2. Математичний опис об'єктів управління.**

Аналіз технологічного об'єкта управління. Рівняння системи в нормальній формі Коші. Способи переходу від системи диференціальних рівнянь до рівнянь стану.

**Тема 3. Основні поняття та типи задач управління.**

Мета та завдання управління. Критерії якості. Керованість, досяжність, спостережуваність. Класифікація задач оптимального управління. Приклади задач оптимального управління.

**Тема 4. Методи варіаційного обчислення.**

Основи варіаційного обчислення. Рівняння Ейлера. Умови Лежандра. Рівняння Ейлера-Пуассона. Задачі з рухомими кінцями. Екстремалі зі зламами. Задачі на умовний екстремум. Метод невизначених множників Лагранжа. Розв'язання задач оптимального управління варіаційними методами.

**Тема 5. Метод динамічного програмування.**

Принцип оптимальності. Застосування методу динамічного програмування для одновимірної дискретної задачі. Метод динамічного програмування в неперервній задачі. Рівняння Беллмана.

**Тема 6. Принцип максимуму Понтрягіна.**

Модифікований вектор стану. Умова оптимальності. Система сполучених рівнянь. Дискретний принцип максимуму.

**Тема 7. Задача про максимальну швидкодію.**

Визначення задачі про максимальну швидкодію.

Динамічне програмування в задачі про максимальну швидкодію. Оптимальне управління об'єктом другого порядку. Принцип максимуму в задачі про максимальну швидкодію.

**Тема 8. Задача аналітичного конструювання регуляторів.**

Поставлення задачі. Синтез регуляторів при жорстко заданій структурі. Синтез регуляторів методом варіаційного обчислення. Аналітичне конструювання регуляторів методом динамічного програмування. Аналітичне конструювання регуляторів за принципом максимуму.

### **Змістовний модуль 2. Адаптивні системи.**

#### **Тема 9. Загальні принципи синтезу адаптивних систем.**

Визначення систем управління з адаптивними властивостями.

Класифікація адаптивних систем. Схеми адаптивних систем. Об'єкти управління зі змінними параметрами.

#### **Тема 10. Аналітичні системи, що самі налаштовуються (СНС) зі стабілізацією якості управління.**

СНС із еталонною моделлю. СНС із моделлю, що налаштовується. Системи з пасивною адаптацією. Принципи побудови СНС систем управління та контролю. САРР. РДМ рівні управління.

#### **Тема 11. Аналітичні СНС із оптимізацією якості управління.**

Аналітичні СНС із налаштуванням за зовнішнім впливом. Аналітичні СНС із налаштуванням за характеристиками об'єкту управління. Системи параметричної оптимізації.

#### **Тема 12. Принципи проектування пошукових СНС із оптимізацією якості управління.**

Гradientні методи пошуку екстремуму. Методи визначення градієнта. Пошукові СНС із оптимізацією якості управління.

## **4. Структура навчальної дисципліни**

Назви змістових модулів 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
<b>Модуль 1. Оптиміальні системи.</b>												
<b>Змістовий модуль 1. Оптиміальні системи</b>												
<b>Тема 1.</b> Класифікація та характеристика технологічних процесів як об'єктів управління.	6	4	-			2						
<b>Тема 2.</b> Математичний опис об'єктів управління.	6	4	-			2						
<b>Тема 3.</b> Основні поняття та типи задач управління.	6	4	-			2						
<b>Тема 4.</b> Методи варіаційного обчислення.	20	4	12			4						

<b>Тема 5.</b> Метод динамічного програмування.	<b>6</b>	4	-			2					
<b>Тема 6.</b> Принцип максимуму Понтрягіна.	<b>8</b>	4	4			-					
<b>Тема 7.</b> Задача про максимальну швидкодію.	<b>18</b>	4	6			8					
<b>Тема 8.</b> Задача аналітичного конструювання регуляторів.	<b>2</b>	-	-			2					
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>72</b>	<b>28</b>	<b>22</b>			<b>22</b>					
<b>Модуль 2. Адаптивні системи</b>											
<b>Змістовий модуль 2. Адаптивні системи</b>											
<b>Тема 9.</b> Загальні принципи синтезу адаптивних систем.	<b>12</b>	4	6			2					
<b>Тема 10.</b> Аналітичні системи, що самі налаштовуються (СНС) зі стабілізацією якості управління.	<b>6</b>	4	-			2					
<b>Тема 11.</b> Аналітичні СНС із оптимізацією якості управління.	<b>16</b>	4	8			4					
<b>Тема 12.</b> Принципи проектування пошукових СНС із оптимізацією якості управління.	<b>14</b>	4	8			2					
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>22</b>			<b>10</b>					
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	-	-	<b>32</b>					

### 5. Темы та план лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Тема 1. Класифікація та характеристика технологічних процесів як об'єктів управління.</b> Основні поняття і визначення . Класифікація систем управління і контролю. Варіаційні методи в теорії оптимального управління. СALS технології для керування та контролю машинобудівного виробництва. ERP. Огляд існуючих систем.	4
2	<b>Тема 2. Математичний опис об'єктів управління.</b> Аналіз технологічного об'єкта управління. Рівняння системи в	4

	нормальній формі Коші.	
3	<b>Тема 3. Основні поняття та типи задач управління.</b> Мета та завдання управління. Критерії якості. Керованість, досяжність, спостережуваність. Класифікація задач оптимального управління.	4
4	<b>Тема 4. Методи варіаційного обчислення.</b> Основи варіаційного обчислення. Рівняння Ейлера. Умови Лежандра. Рівняння Ейлера-Пуассона. Задачі з рухомими кінцями. Екстремалі зі зламами. Задачі на умовний екстремум.	4
5	<b>Тема 5. Метод динамічного програмування.</b> Принцип оптимальності. Застосування методу динамічного програмування для одновимірної дискретної задачі. Метод динамічного програмування в неперервній задачі.	4
6	<b>Тема 6. Принцип максимуму Понтрягіна.</b> Модифікований вектор стану. Умова оптимальності. Система сполучених рівнянь. Дискретний принцип максимуму.	4
7	<b>Тема 7. Задача про максимальну швидкодію.</b> Визначення задачі про максимальну швидкодію. Динамічне програмування в задачі про максимальну швидкодію. Оптимальне управління об'єктом другого порядку.	4
8	<b>Тема 9. Загальні принципи синтезу адаптивних систем.</b> Визначення систем управління з адаптивними властивостями. Класифікація адаптивних систем. Схеми адаптивних систем.	4
9	<b>Тема 10. Аналітичні системи, що самі налаштовуються (СНС) зі стабілізацією якості управління.</b> СНС із еталонною моделлю. СНС із моделлю, що налаштовується. Системи з пасивною адаптацією. Принципи побудови СНС систем управління та контролю.	4
10	<b>Тема 11. Аналітичні СНС із оптимізацією якості управління.</b> Аналітичні СНС із налаштуванням за зовнішнім впливом. Аналітичні СНС із налаштуванням за характеристиками об'єкту управління.	4
11	<b>Тема 12. Принципи проектування пошукових СНС із оптимізацією якості управління.</b> Гradientні методи пошуку екстремуму. Методи визначення градієнта.	4
	<b>Разом</b>	<b>44</b>

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Задачі оптимізації функціоналів. Рівняння Ейлера-Лагранжа.	8
2	Задачі на умовний екстремум функціоналів.	4
3	Точний розв'язок задач варіаційного числення для двовірних задач.	4
4	Точний розв'язок задач оптимального управління	6
5	Синтез оптимальних за швидкодією систем.	6
6	Наближені методи знаходження розв'язку крайових	8



	задач.	
7	Синтез оптимальних системи автоматичного управління за допомогою методу динамічного програмування.	8
	<b>Разом</b>	<b>44</b>

## 7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Тема 1. Класифікація та характеристика технологічних процесів як об'єктів управління.</b> CALS технології MRP рівень.	2
2	<b>Тема 2. Математичний опис об'єктів управління.</b> Способи переходу від системи диференціальних рівнянь до рівнянь стану.	2
3	<b>Тема 3. Основні поняття та типи задач управління.</b> Приклади задач оптимального управління.	2
4	<b>Тема 4. Методи варіаційного обчислення.</b> Метод невизначених множників Лагранжа. Розв'язання задач оптимального управління варіаційними методами.	4
5	<b>Тема 5. Метод динамічного програмування.</b> Рівняння Беллмана.	2
6	<b>Тема 7. Задача про максимальну швидкодію.</b> Принцип максимуму в задачі про максимальну швидкодію.	2
7	<b>Тема 8. Задача аналітичного конструювання регуляторів.</b> Поставлення задачі. Синтез регуляторів при жорстко заданій структурі. Синтез регуляторів методом варіаційного обчислення. Аналітичне конструювання регуляторів методом динамічного програмування. Аналітичне конструювання регуляторів за принципом максимуму.	8
8	<b>Тема 9. Загальні принципи синтезу адаптивних систем.</b> Об'єкти управління зі змінними параметрами.	2
9	<b>Тема 10. Аналітичні системи, що самі налаштовуються (СНС) зі стабілізацією якості управління.</b> САРР. PDM рівні управління.	2
10	<b>Тема 11. Аналітичні СНС із оптимізацією якості управління.</b> Системи параметричної оптимізації.	4
11	<b>Тема 12. Принципи проектування пошукових СНС із оптимізацією якості управління.</b> Пошукові СНС із оптимізацією якості управління.	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

## 8. Методи навчання

### 1. Методи навчання за джерелом знань:

1.1. *Словесні*: розповідь, пояснення, бесіда (евристична і репродуктивна), лекція, інструктаж.

1.2. *Наочні*: демонстрація, ілюстрація, спостереження.

1.3. **Практичні:** лабораторний метод, практична робота, вправа, виробничо-практичні методи.

**2. Методи навчання за характером логіки пізнання.**

2.1. *Аналітичний*

2.2. *Методи синтезу*

2.3. *Індуктивний метод*

**3. Методи навчання за характером та рівнем самостійної розумової діяльності студентів.**

3.1. *Частково-пошуковий (евристичний)*

3.2. *Репродуктивний*

3.3. *Пояснювально-демонстративний*

**4. Активні методи навчання** - використання технічних засобів навчання, диспути, використання проблемних ситуацій, самооцінка знань, імітаційні методи навчання (побудовані на імітації майбутньої професійної діяльності), використання навчальних та контролюючих тестів, використання опорних конспектів лекцій.

**5. Інтерактивні технології навчання** - використання мультимедійних технологій.

## **9. Методи контролю**

1. Рейтинговий контроль за 100-бальною шкалою оцінювання ЄКТС

2. Проведення проміжного контролю протягом семестру (проміжна атестація)

3. Полікритеріальна оцінка поточної роботи здобувача:

- рівень знань, продемонстрований на практичних, лабораторних та семінарських заняттях;

- активність під час обговорення питань, що винесені на заняття;

- результати виконання та захисту лабораторних робіт;

- експрес-контроль під час аудиторних занять;

- самостійне опрацювання теми в цілому чи окремих питань;

- виконання аналітично-розрахункових завдань;

- написання рефератів, есе, звітів;

- результати тестування;

- письмові завдання при проведенні контрольних робіт;

4. Пряме врахування у підсумковій оцінці виконання здобувачем певного індивідуального завдання : - навчально-дослідна робота

### 10. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота												СРС	Разом за модулі та СРС	Тестування	Сума
Змістовий модуль 1 - 40 балів						Змістовий модуль 2 - 30 балів									
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	15	85	15	100
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		(70+ 15)		

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів, див. стор. 5.

### 11. Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
82-89	<b>B</b>	добре	
75-81	<b>C</b>	задовільно	
69-74	<b>D</b>		
60-68	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### 12. Рекомендована література

#### Базова

- Лисенко В. П., Кузьменко Б. В., Головінський Б. Л. Оптимальні системи автоматичного управління: Навчальне видання, – К.: Видавничий центр НАУ, 2003. – 96 с., ил.
- Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы : учебн. пос. – М. : Электронная книга, 2003. – 278 с.
- Штаер, Л. О. Оптимальні та адаптивні системи : конспект лекцій / Л. О. Штаер. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. - 52 с.

4. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: підручник для студентів / М.Г.Попович, О.В. Ковальчук, Вид. 2-е. К.: Либідь, 2007 р. - 656 с.
5. Оптимальні та адаптивні системи: конспект лекцій / С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 165 с.
6. Романенко В. Д. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ / В. Д. Романенко, Б. В. Игнатенко. – К. : Вища школа, 1990. – 334 с.
7. Лисенко В. П., Кузьменко Б. В., Ботвин В. Л., Кондратюк В. Г. Математичні моделі технологічних процесів та розрахунки за ними на ПК, Частина 2: Навчальне видання, – К.: Видавничий центр НАУ, 2001. – 35 с., ил.
8. Куропаткин П. В. Оптимальные и адаптивные системы. /Куропаткин П. В. — М. : Высш. шк., 1980. — 287 с.
9. Чураков Е. П. Оптимальные и адаптивные системы : уч. пос. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.

#### Допоміжна

- 10.Летова Т. А. , Пантелеев А. В. Методы оптимизации. Практический курс: учебное пособие, М.: Логос, 2011 - 424с.
- 11.Грешилов А. А. Прикладные задачи математического программирования: учебное пособие. М.: Логос, 2006 - 288с.
- 12.Szuster M., Hendzel Z. Intelligent Optimal Adaptive Control for Mechatronic Systems, Series: Studies in Systems, Decision and Control Vol. 120, 1st ed. Springer, 2018, XI - 382 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68826-8>
- 13.Jorge Nocedal, Stephen J. Wright. Numerical Optimization // Springer, 2006. – 664 p.
- 14.George B. Dantzig, Mukund N. Thapa. Linear programming. 1: Introduction // Springer-Verlag, 1997.
- 15.George B. Dantzig, Mukund N. Thapa. Linear Programming. 2: Theory and Extensions // Springer-Verlag, 2003. - 474 p.
- 16.Лотов В.А., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
- 17.Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.
- 18.Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 240 с.
- 19.Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. М.: Наука, 1969. – 370 с.
- 20.Хансен Э., Уолстер Дж. У. Глобальная оптимизация с помощью методов интервального анализа. Изд-во УдГУ, 2012. – 516 с.
- 21.F. Csaki, R. Bars and T. J. Higgins, "Modern Control Theories: Nonlinear, Optimal and Adaptive Systems," in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-3, no. 5, pp. 530-531, Sept. 1973. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309292>

22. Belegundu, A. D., & Chandrupatla, T. R. (2019). Optimization Concepts and Applications in Engineering (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108347976>
23. Calafiore, G., & El Ghaoui, L. (2014). Optimization Models. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107279667>
24. Baldick, R. (2006). Applied Optimization: Formulation and Algorithms for Engineering Systems. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610868>
25. Guenin, B., Könemann, J., & Tunçel, L. (2014). A Gentle Introduction to Optimization. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107282094>
26. Ponstein, J. P. (1980). Approaches to the Theory of Optimization. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511526527>
27. Sundaram, R. K. (1996). A First Course in Optimization Theory. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511804526>
28. Lau, L. C., Ravi, R., & Singh, M. (2011). Iterative Methods in Combinatorial Optimization. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511977152>
29. Jurdjevic, V. (2016). Optimal Control and Geometry: Integrable Systems. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316286852>