

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

СИЛАБУС ДИСЦИПЛІНИ

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

рівень вищої освіти другий (магістерській)

галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації  
(шифр і назва)

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка  
(шифр і назва)

освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

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

інститут ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія»

2024 / 2025 навчальний рік

## ВСТУП

Силабус навчальної дисципліни «Моделювання та оптимізація систем керування» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

другий (магістерський)

(назва рівня вищої освіти)

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

спеціалізація \_\_\_\_\_

Інформація про кафедру	Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Department of Automation, Metrology and Energy-efficient Technologies сайт кафедри <a href="https://kafotss.kharkov.ua/ukr/">https://kafotss.kharkov.ua/ukr/</a>
Інформація про викладача (-ів)	Доктор технічних наук, професор Канюк Геннадій Іванович посилання на профайл викладача: <a href="https://griml.com/3NzzX">https://griml.com/3NzzX</a> електронна пошта <a href="mailto:g.i.kanuk@karazin.ua">g.i.kanuk@karazin.ua</a>
Сторінка дисципліни в системі дистанційного навчання	<a href="https://moodle.karazin.ua/">https://moodle.karazin.ua/</a>
Консультації з викладачем (-ами)	Он лайн консультації: Доктор технічних наук, професор Канюк Геннадій Іванович щовівторка 15.20 -16.40 за посиланням <a href="https://meet.google.com/qgo-eqwz-vuu">https://meet.google.com/qgo-eqwz-vuu</a>

## 1. Опис навчальної дисципліни

### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

**Метою** вивчення дисципліни є формування у студентів знань сучасних методичних основ побудови моделей систем автоматичного управління, інструментальних засобів математичного моделювання систем, розкриття сучасних наукових концепцій, понять та математичних методів оптимізації, надання студентам необхідного обсягу теоретичних знань та практичних навичок в галузі математичного моделювання та оптимізації складних систем на основі широкого застосування засобів сучасної обчислювальної техніки. Знання, одержані при вивченні дисципліни, сприяють розвитку творчого підходу студентів до вивчення та удосконалення складних систем автоматичного управління, побудованих на основі застосування сучасної обчислювальної техніки та математичного забезпечення.

Вивчення навчальної дисципліни сприяє здобуттю наступних **компетентностей**:

ЗК1 Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК3 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

СК3. Здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.

СК6. Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами.

СК7. Здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

1. Ознайомлення з основами математичного моделювання систем:
  - Вивчення методів моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем та процесів, що використовуються у сфері автоматизації.
  - Формування навичок побудови математичних моделей для аналізу поведінки керованих систем.
2. Опанування методами оптимізації:
  - Вивчення методів і алгоритмів оптимізації, які дозволяють знаходити оптимальні рішення в системах управління, що стосуються ресурсо- та енергозбереження, мінімізації часу або витрат.
  - Розробка алгоритмів для оптимізації параметрів систем керування з метою підвищення їх ефективності.
3. Моделювання і оптимізація за допомогою програмного забезпечення:
  - Використання середовища MATLAB/Simulink для моделювання, оптимізації та аналізу систем керування.
  - Розробка моделей реальних систем і оптимізація їх роботи для вирішення практичних задач автоматизації.
4. Розвиток практичних навичок проектування систем керування:
  - Практичне застосування теоретичних знань у процесі розробки систем управління, які забезпечують оптимальне функціонування технічних та технологічних об'єктів.
  - Виконання індивідуальних і групових проектів з моделювання та оптимізації систем керування для реальних інженерних задач.
5. Розвиток критичного мислення та навичок дослідження:

- Стимулювання студентів до самостійного дослідження та аналізу сучасних підходів і технологій у моделюванні й оптимізації систем управління.

### 1.3. Кількість кредитів

4

### 1.4. Загальна кількість годин

120

<b>1.5. Характеристика навчальної дисципліни</b>	
Обов'язкова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	1-й
Семестр	
2-й	2-й
Лекції	
28 год.	8 год.
Практичні, семінарські заняття	
12 год.	4 год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
80 год.	108 год.
у тому числі індивідуальні завдання	
год.	

### 1.6. Заплановані результати навчання

PH03. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій для розв'язування складних задач професійної діяльності.

PH04. Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.

PH08. Застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв.

PH10. Розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами, професійно володіти спеціальними програмними засобами.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### **Розділ 1.** Моделювання систем керування

#### *Тема 1.* Моделювання як науковий прийом.

Основні поняття і визначення. Класифікація моделей. Математичне моделювання: цілі математичного моделювання; вимоги до математичної моделі; етапи математичного моделювання; класифікація математичних моделей.

#### *Тема 2.* Математичні моделі у формі звичайних диференціальних рівнянь

Області застосування. Базові поняття. Приклади формування моделей. Методика складання диференціальних рівнянь системи автоматичного управління. Запис диференціальних рівнянь в операторній формі. Рішення математичних моделей у класі звичайних диференціальних рівнянь. Методи рішення математичних моделей у класі звичайних диференціальних рівнянь. Якісне дослідження динамічних систем методом фазової площини.

#### *Тема 3.* Детерміновані і стохастичні математичні моделі

Базові поняття. Два підходи до моделювання фізичних систем. Основні імовірнісні характеристики випадкового процесу. Особливості моделювання випадкового процесу.

#### *Тема 4.* Математичні моделі у формі передавальних функцій

Базові поняття. Передавальні функції. Елементарні типові ланки динамічних систем.

#### *Тема 5.* Математичні моделі у просторі станів

Основні визначення та поняття. Рівняння стану. Рівняння стану у стандартній формі. Розв'язання рівнянь стану: розв'язання однорідних рівнянь стану; розв'язання неоднорідних рівнянь стану. Визначення перехідної матриці стану стаціонарної лінійної системи.

#### *Тема 6.* Математичні моделі систем у часовій та частотній областях

Математичні моделі у часовій області: перехідна функція; імпульсна перехідна функція. Математичні моделі у частотній області.

#### *Тема 7.* Математичні моделі систем управління з пружними зв'язками

Багатомасові системи управління механізмів підйому. Багатомасова системи управління механізмом переміщення. Розгалужені розрахункові механічні схеми. Математичні моделі багатомасової системи управління механізмом підйому скипової підйомальної установки.

### **Розділ 2.** Оптимізація систем керування

#### *Тема 1.* Загальна характеристика завдань і методів оптимального управління

Основні поняття і визначення. Критерії оптимальності. Обмеження координат та крайові умови. Керованість та спостережливість стаціонарних лінійних систем. Формулювання задачі оптимального керування. Методи дослідження оптимальних систем.

#### *Тема 2.* Методи класичного варіаційного числення

Загальна постановка задачі і основні визначення. Варіація функціонала. Екстремум функціонала. Найпростіша задача варіаційного числення. Рівняння Ейлера. Функціонали, що залежить від старших похідних. Задача на екстремум із рухомими межами. Достатні умови екстремуму. Поле екстремалей. Умова Якобі. Варіаційні задачі на умовний екстремум. Ізопериметричні варіаційні задачі.

#### *Тема 3.* Принцип максимуму Л. С. Понтрягіна в теорії оптимального управління

Попередні зауваження. Основні положення принципу максимуму. Принцип максимуму Л.С.Понтрягіна в задачі про швидкодію. Оптимальне за швидкодією керування лінійними об'єктами. Теорема про  $n$ -інтервалів. Задача з обмеженням на фазові координати. Принцип максимуму для замкнених систем, оптимальних за швидкодією.

#### *Тема 4.* Метод динамічного програмування

Принцип оптимальності. Оптимальне управління дискретними системами. Оптимальне управління в безперервних системах: задача з фіксованим часом і вільним кінцем траєкторії; задача з закріпленим кінцем траєкторії і вільним часом; задача про максимальну швидкодію. Синтез оптимального регулятора для лінійних системи: синтез оптимального регулятора стану; задача про регулятор виходу.

*Тема 5. Синтез оптимальних систем автоматичного управління за інтегральним квадратичним критерієм*

Синтез оптимального нестационарного лінійного регулятора стану. Синтез оптимального стаціонарного лінійного регулятора стану. Синтез стохастичних лінійних оптимальних систем при повній інформації про стан. Синтез стохастичних оптимальних систем управління при неповній інформації про стан. Стохастична лінійна оптимальна система управління при неповній інформації. Принцип розділення. Синтез оптимальної лінійної дискретної системи при квадратичному критерії. Стохастична оптимальна лінійна дискретна система за повної інформації про стан. Стохастична лінійна оптимальна дискретна система за неповної інформації про стан.

### 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	
<b>Розділ 1. Моделювання систем керування</b>													
Тема 1. Моделювання як науковий прийом	8	2				6	8	0,5					7,5
Тема 2. Математичні моделі у формі звичайних диференціальних рівнянь	9	2				7	9	0,5					8,5
Тема 3. Детерміновані і стохастичні математичні моделі	9	2				7	8	0,5					7,5
Тема 4. Математичні моделі у формі передавальних функцій	8	2				6	8	0,5					7,5
Тема 5. Математичні моделі у просторі станів	9	2				7	9	1					8
Тема 6. Математичні моделі систем у часовій та частотній областях	8	2				6	9	0,5					8,5
Тема 7. Математичні моделі систем управління з пружними зв'язками	9	2	6			1	9	0,5	2				6,5
Разом за розділом 1	60	14	6			40	60	4	2				54
<b>Розділ 2. Оптимізація систем керування</b>													
Тема 1. Оптимізація систем керування	12	2				10	12	0,5					11,5

Тема 2. Методи класичного варіаційного числення	12	4				8	12	1				11
Тема 3. Принцип максимуму Л. С. Понтрягіна в теорії оптимального управління	12	4				8	12	1				11
Тема 4. Метод динамічного програмування	12	2				10	12	1				11
Тема 5. Синтез оптимальних систем автоматичного управління за інтегральним квадратичним критерієм	12	2	6			4	12	0,5	2			9,5
Разом за розділом 2	60	14	6			40	60	4	2			54
<b>Усього годин</b>	120	28	12			80	120	8	4			108

#### 4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Моделювання двомасової двоконтурної системи підлеглого регулювання швидкості електроприводу ТП-Д	2
2	Моделювання трьохмасової двоконтурної системи підлеглого регулювання швидкості електроприводу ТП-Д	2
3	Моделювання трьохмасової трьохконтурної системи підлеглого регулювання швидкості електроприводу Г-Д	2
4	Синтез оптимальної системи автоматичного управління по інтегральному квадратичному критерію якості. Синтез оптимального лінійного регулятора	2
5	Синтез оптимальної системи автоматичного управління по інтегральному квадратичному критерію якості. Синтез оптимального спостерігача	2
6	Синтез оптимальної системи автоматичного управління по інтегральному квадратичному критерію якості. Синтез оптимального компенсатора	2
	Разом	12

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Моделювання як науковий прийом. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти	6

2	Математичні моделі у формі звичайних диференціальних рівнянь. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	7
3	Детерміновані і стохастичні математичні моделі. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	8
4	Математичні моделі у формі передавальних функцій. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти	9
5	Математичні моделі у просторі станів. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	7
6	Математичні моделі систем у часовій та частотній областях. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	6
7	Математичні моделі систем управління з пружними зв'язками Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	1
8	Оптимізація систем керування. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	10
9	Методи класичного варіаційного числення. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	8
10	Принцип максимуму Л. С. Понтрягіна в теорії оптимального управління. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	8
11	Метод динамічного програмування Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	10
12	Синтез оптимальних систем автоматичного управління за інтегральним квадратичним критерієм. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	4
	Разом	80



## 6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом

## 7. Методи навчання

Пояснювально-ілюстративний, репродуктивний, частково-пошуковий, дослідницький, проблемного викладу; словесні, наочні, практичні; аналіз, синтез, індукція, дедукція; активні методи (дискусії та дебати, метод кейсів), інтерактивні методи (інтерактивні лекції, мозкові штурми, інтерактивні симуляції), проектні методи (проектне навчання, метод проектів); методи дистанційного навчання.

## 8. Методи контролю

*Поточний контроль* – усне та письмове опитування, експрес-опитування, контрольні роботи, тестування, оцінка практичних навичок, перевірка завдань для самостійної роботи, кейс-метод, комп'ютерні симуляції.

*Підсумковий контроль* – іспит.

## 9. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання												Екзамен	Сума	
Розділ 1							Розділ 2							Разом
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	T2	T3	T4	T5	60	40	100
4	4	4	4	5	4	5	6	6	6	6	6			

T1, T2 ... – теми розділів

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку, або екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 20 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

## Критерії оцінювання навчальних досягнень

### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

## 10. Рекомендована література

### Основна

1. Моделювання та оптимізація систем: підручник / Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., А.В.Усов А. В. – Вінниця : ПП «ГД «Еднльвейс», 2017. – 804 с.
2. Панченко С.В., Медиченко М.П., Лисечко В.П. Методи оптимізації та моделювання: Навч. посібник / – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Ч.1. – 128 с..
3. Томашевський В.М. Моделювання систем: Підручник / В.М. Томашевський. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
4. Дудар З.В. Моделювання систем: Навч. посібник. – Харків: ХНУРК, 2004.– 112 с.
5. Хусаїнов Д.Я., Харченко І.І., Шатирко А.В. Введення в моделювання динамічних систем: Навч. посібник / К. КПІ, 2010. – 130 с.
6. Оптимізаційні методи та моделі : підручник / В.С. Григорків, М.В. Григорків. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2016. – 400 с.
7. Жалдак М. І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник. - Черкаси: Брама-Україна, 2005. - 608 с.
8. Обод І.І. Математичне моделювання систем: навчальний посібник. / За редакцією І.І. Обода – Харків : НТУ «ХПІ», Друкарня МАДРИД, 2019. – 268 с.
9. Методи оптимізації та дослідження операцій : навчальний посібник / Укладачі: Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.

### Допоміжна

1. Бахрушин В.Є. Математичні основи моделювання систем: Навчальний посібник. – Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2009. – 224 с.
2. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й.Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.
3. Забара С.С. Моделювання систем у середовищі MATLAB / Забара С.С., Гагарін А.А., Кузьменко І.М., Щербашин Ю.Д. – К.: Видавництво “Університету “Україна , 2011. – 137 с.
4. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
5. Гераїмчук М. Д. Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK [Електронний ресурс] : комп’ютерний практикум / М. Д. Гераїмчук, Ю. Ф. Лазарев, Т. О. Толочко ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 3,57 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2006. – 175 с.
6. Захарчук В.І. Методи оптимізації та комп’ютерні технології : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / В. І. Захарчук. – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2017. – 145 с.Павленко П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2013. 201 с.

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

1. Сторінка дистанційного навчання URL  
<https://moodle.karazin.ua/course/view.php?id=10009>
2. Mathematical Modelling | Control Systems | Simplified. URL. <https://griml.com/qz7BQ>
3. Mathematical Model of Control System URL. <https://griml.com/jM0NZ>
4. Optimization and Optimal Control: an Overview. URL. <https://griml.com/4kOyR>
5. Constrained Optimal Control. URL. <https://griml.com/Bc8Kf>

6. Василець Т. Ю. Моделювання та оптимізація систем керування : навч.-метод. посібник для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» денної та заоч. форм здобуття освіти спец. 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Ч. 1 / Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець О. О. Варфоломійєв ; Укр. інж.-пед. акад. – Харків : УПА, 2022. – 135 с.
7. Василець Т. Ю. Моделювання та оптимізація систем керування : навч.-метод. посібник для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» денної та заоч. форм здобуття освіти спец. 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Ч.2 / Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець, О. О. Варфоломійєв ; Укр. інж.-пед. акад. – Харків : УПА, 2023. – 154 с.
8. Моделювання та оптимізація систем керування : метод. вказівки до проведення практичних занять для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» денної та заоч. форм здобуття освіти спец: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Ч. 1/ Укр. інж.-пед. акад. ; упоряд. Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець, О. О. Варфоломійєв. – Харків : УПА, 2022. – 76 с.
9. Моделювання та оптимізація систем керування : метод. вказівки до проведення практичних занять для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» денної та заоч. форм здобуття освіти спец: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Ч. 2 / Укр. інж.-пед. акад. ; упоряд.: Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець, О. О. Варфоломійєв. – Харків : УПА, 2023. – 110 с.

Зміст си́лабусу відповідає робочій програмі навчальної дисципліни

Завідувач кафедри АМЕТ



Геннадій КАНЮК