



## СИЛАБУС

### обов'язкового освітнього компонента **ОПТИМАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

Обсяг освітнього компоненту (9 кредитів / 270 годин)

Освітня програма: «Автоматизація, мехатроніка та робототехніка»  
другого (магістерського) рівня вищої освіти  
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

## ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКЛАДАЧА



**ЄФИМЕНКО Микола Володимирович,**  
д-р. техн. наук., професор

**Контактна інформація:**

*e-mail:* nefimenko@gmail.com

**Профіль викладача на сайті університету:**

<https://zp.edu.ua/mykola-volodymyrovych-yefymenko>

**Час і місце проведення консультацій**

Відповідно до розкладу, на платформі google meet

## ОПИС КУРСУ

Для сучасного етапу розвитку науки і техніки характерні швидкий прогрес технічної кібернетики і значне розширення сфери її практичного застосування в управлінні складними динамічними об'єктами. В наш час основними рисами задач управління є велика складність об'єктів, необхідність управління сукупністю об'єктів, а також високі вимоги до точності та динаміки управління. Так, наприклад, розвиток авіації та ракетно-космічної техніки зумовило постановку та необхідність вирішення принципово нових проблем: управління багато зв'язковими об'єктами, побудова оптимальних систем стабілізації та термінального управління, управління системами при неповній інформації, побудова цифрових систем управління тощо, інтенсивної розробки та широкого практичного застосування таких розділів теорії, як оптимальне управління (детермінований та стохастичний варіанти завдань) та адаптивне управління



(у тому числі теорія екстремальних та самонастроюваних систем). Слід зазначити, що в теорії автоматичного управління останнім часом відбулися суттєві якісні зміни, пов'язані із застосуванням нових математичних методів. Повне визнання отримав підхід з використанням поняття простору станів, що застосовує методи лінійної алгебри та теорії диференціальних та різницевих рівнянь. При побудові оптимальних систем подальший розвиток отримали підходи, що ґрунтуються на методах функціонального аналізу, теорії випадкових процесів та математичної статистики, математичному програмуванні. Всі ці питання розглядаються в курсі «**Оптимальні системи автоматичного керування**»

Навчальна дисципліна «Оптимальні системи автоматичного керування» є обов'язковою освітньою компонентою та призначена для ознайомлення майбутніх магістрів із сучасною теорією автоматичного керування.

## **МЕТА, КОМПЕТЕНТНОСТІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ**

1. *Мета:* ознайомлення здобувачів освіти із теоретичним підґрунтям та основами проектування оптимальних систем керування; вивчення методів оптимального керування та їх застосування у різних сферах інженерії та технологій

2. *Компетентності та результати навчання, формування яких забезпечує вивчення дисципліни.*

У результаті вивчення дисципліни «Оптимальні системи автоматичного керування» здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти повинен отримати:

*інтегральну компетентність:*

здатність розв'язувати складні задачі і проблеми автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій у професійній діяльності та/або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності та характеризується комплексністю та невизначеністю умов і вимог;

*загальні компетентності:*

**ЗК1.** Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

**ЗК2.** Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

**ЗК3.** Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

*спеціальні (фахові, предметні) компетентності:*

**СК2.** Здатність проектувати та впроваджувати високонадійні системи автоматизації та їх прикладне програмне забезпечення, для реалізації функцій управління та опрацювання інформації, здійснювати захист прав інтелектуальної власності на нові проектні та інженерні рішення.

**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.

**СК9.** Здатність застосовувати сучасні технології наукових досліджень процесів, обладнання, засобів і систем автоматизації, контролю, діагностики, випробування та керування складними організаційно-технічними об'єктами та системами.

*Результати навчання* деталізують програмні результати навчання. У результаті вивчення дисципліни «Оптимальні системи автоматичного керування» здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти повинен –

**вміти:**

- ❖ створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв;
- ❖ створювати високонадійні системи автоматизації з високим рівнем функціональної та інформаційної безпеки програмних та технічних засобів;
- ❖ 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;
- ❖ застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами;
- ❖ аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації;
- ❖ 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;

**знати:**

- ❖ системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань;
- ❖ сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами;



- ❖ сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.
- ❖ проводити наукові дослідження виробничо-технічних систем у певній галузі діяльності і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації.

Нормативний зміст підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, сформульований у термінах результатів навчання:

**РН01.** Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв.

**РН02.** Створювати високонадійні системи автоматизації з високим рівнем функціональної та інформаційної безпеки програмних та технічних засобів.

**РН03.** 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.

**РН04.** Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами

**РН07.** Аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації

**РН08.** 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.

## **ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

Перелік дисциплін, вивчення яких має передувати дисципліні:

- Теорія автоматичного керування;
- Електромеханіка;
- Системи управління технологічними процесами (SCADA системи).

Перелік дисциплін, для вивчення яких є обов'язковими знання, здобуті при вивченні цієї дисципліни:

- виконання розділу кваліфікаційної роботи магістра.

## **ПЕРЕЛІК ТЕМ (ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН) ДИСЦИПЛІНИ**

Курс навчальної дисципліни «Оптимальні системи автоматичного керування» складається з лекцій, лабораторних занять та самостійної роботи. При викладанні дисципліни лектор викладає загальні концепції, положення,



теорії тощо. На лабораторних заняттях здобувачі поглиблюють набуті теоретичні знання в обговореннях індивідуальних доповідей, у тематичних дискусіях, у співбесідах з викладачем, виконують письмові вправи тощо, а також закріплюють навчальний матеріал у самостійному розв'язанні аналогічних завдань при самостійній роботі.

Програма дисципліни «Оптимальні системи автоматичного керування» складається з чотирьох змістових модулів:

1. Метод простору станів
2. Синтез модальних регуляторів
3. Дискретні лінійні системи у просторі стану. Спостерігачі
4. Розв'язання задач оптимального управління методами варіаційного обчислення. Застосування варіаційного обчислення для побудови алгоритмів керування лінійних систем. Принцип максимуму Л.С.Понтрягіна. Векторні стохастичні процеси. Оптимальні спостерігачі.

Таблиця 1 – Загальний тематичний план аудиторної роботи.

Номер тижня	Теми лекцій, год.	Теми лабораторних/практичних робіт або семінарів, год.
1	2	3
<b>Змістовий модуль 1. Метод простору станів.</b>		
1, 2	Тема 1. Основні терміни та визначення. Математичний опис ОУ у просторі станів. Розв'язування диференціальних рівнянь стану лінійних систем (2 год.).	Лабораторна робота 1. Вивчення основ роботи з пакетом для математичних та інженерних розрахунків MATLAB (8 год.).
3	Тема 2. Матрична імпульсна та перехідна функції лінійної системи у просторі станів. Лінійне перетворення рівнянь стану. (2 год.).	--
4	Тема 3. Власні значення та власні вектори лінійної системи. Діагоналізація. Рівняння стану та передатна функція. З'єднання лінійних систем. Стійкість лінійних систем у просторі станів. Керованість та спостережуваність лінійних систем (2 год.).	--
<b>Змістовий модуль 2. Синтез модальних регуляторів</b>		
5, 6	Тема 4. Задача модального керування. Синтез одновимірних модальних регуляторів. (2 год.).	Лабораторна робота 2. Дослідження САК з ПІД регулятором (10 год.).
<b>Змістовий модуль 3. Спостерігачі</b>		
7, 8	Тема 5. Постановка задачі оцінювання стану. Типу оцінок стану. Синтез спостерігачів для лінійних систем с постійними параметрами. Модальне управління по виходу об'єкта. Теорема розподілу (2 год.).	



9, 10	Тема 6. Дискретні лінійні системи у просторі стану. Опис стану лінійних дискретних систем. Перетворення неперервної систем у дискретну. Рішення різниного рівняння стану. Матрична імпульсна перехідна функції лінійної дискретної системи в просторі стану. Власні значення та власні вектори лінійної дискретної системи (2 год.).	Лабораторна робота 3. Дослідження дискретних САК (12 год.)
11, 12	Тема 7. Стійкість лінійної дискретної системи. Дискретне перетворення Лапласа та $z$ перетворення. Рівняння стану та передатна функція. Частотна характеристика дискретної системи у просторі станів. Синтез дискретних регуляторів у просторі стану(2 год.).	
<b>Змістовий модуль 4. Розв'язання задач оптимального управління методами варіаційного обчислення</b>		
1, 2	Тема 8. Основні терміни та визначення теорії варіаційного обчислення. Диференційне рівняння Ейлера. Динамічна оптимізація з обмеженнями у формі рівностей - множники Лагранжа (4 год.).	
3,4	Тема 9. Динамічна оптимізація з обмеженнями у формі нерівностей. Варіаційний обчислення, окремі випадки: Підінтегральна функція $F$ лінійно залежить від $y'$ ; Підінтегральна функція $F$ не залежить явно від $y$ Підінтегральна функція $F$ залежить тільки від $y'$ Підінтегральна функція $F$ не залежить від $x$ (4 год.).	Лабораторна робота 4. Створення та дослідження математичних моделей систем керування у просторі стану (6 год.)
5,6	Тема 10. Застосування варіаційного обчислення для побудови алгоритмів керування лінійних систем. Термінальні керуючі пристрої. Лінійні регулятори. Принцип максимуму Л.С.Понтрягіна	Лабораторна робота 5. Вивчення основ обробки зображень у системі MATLAB (8 год.)
7,8	Тема 11. Векторні стохастичні процеси. Основні терміни та визначення. Матриця спектральних щільностей енергії. Білий шум. Лінійні системи збудені білим шумом	Лабораторна робота 6. Синтез модального управління для лінійних системах у середовищі Matlab (8 год.)
9-12	Тема 12. Оптимальні спостерігачі. Безперервні оптимальні спостерігачі. Дискретні, оптимальні спостерігачі. Лабораторна	Лабораторна робота 7. Знаходження екстремалі функціоналу засобами пакету Matlab (8 год.)



## САМОСТІЙНА РОБОТА

Перелік завдань на СРС, вид завдань, контрольні заходи.

Назва теми	Графік самостійної роботи	Кількість годин	Контрольні заходи
Аналіз та порівняння оптимальних алгоритмів керування	Виконання індивідуального завдання		
Оптимальне керування технічними системами: механічні системи, електронні системи, електромеханічні системи			
Оптимальне керування робототехнічними системами: оптимальні стратегії керування для різних типів робіт, таких як маніпуляційні роботи, мобільні роботи або дрони	Виконання індивідуального завдання		
Оптимізація параметрів контролера PID			
Методи на основі еволюційних алгоритмів, генетичних алгоритмів або методів штучного інтелекту для автоматичного налаштування параметрів PID			
Аналіз та моделювання дискретних систем керування: автономні лінійні рекурентні системи, алгоритми скінченних автоматів	Виконання індивідуального завдання		
Проектування та аналіз алгоритмів управління дискретними системами			
Моделювання та управління системами в просторі стану			
Дискретне керування в реальному часі. Застосування дискретних систем керування в інтелектуальних системах			

## РЕКОМЕНДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТА НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ ДЖЕРЕЛА

*Навчально-методичні розробки:*

1. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Оптимальні системи керування” для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” денної та заочної форм навчання / Укл.:



М. В. Єфименко, Н. О. Миронова, С. В. Шаптала – Запоріжжя: НУ «Запорізька Політехніка», 2022. – 72 с.

*Літературні джерела:*

1. Теорія систем керування: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, В.П. Щокін; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро: НГУ, 2017. – 497 с.
2. Теорія керування для інформатиків : підручник / Ю. В. Крак, А. В. Шатирко. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2015. – 175 с.
3. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізацій «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» / Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 155 с.
4. Оптимальні системи управління. Навчальний. посібник / О. А. Стенін, В. П. Пасько, А. Д. Лемешко, О. М. Польшакова. – Київ, КПІ ім. Сікорського, Видав. Політехніка, 2017. – 172 с.
5. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.
6. Оптимальні та адаптивні системи : навчальний посібник / С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 221 с.
7. Хісматулін В. Ш., Сосунов О. О., Сотник В. О. Теорія оптимальних систем автоматичного керування: Навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 229 с.
8. Yefymenko N., Kudermetov R. Quaternion models of a rigid body rotation motion and their application for spacecraft attitude control, Acta Astronautica, vol. 194, 2022, pp. 76–82. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094576522000388>)
9. Yefymenko N., Kudermetov R. Dynamic model motion of vector and its application in spacecraft uniaxial orientation problems, Space Science and Technology, №4, 2024. doi.org/10.15407/knit2024.04 (<http://space-scitechjournal.org.ua/en/archive/2024/4/02>)





## ОЦІНЮВАННЯ

Оцінювання навчальних успіхів здобувачів реалізується шляхом проведення поточного та підсумкового контролю успішності.

Форма підсумкового контролю – залік/іспит, у формі підсумкового опитування.

Формами поточного контролю є надання результатів лабораторних робіт, які оцінюються згідно табл.3-4.

Здобувач освіти отримує позитивну оцінку при сумі балів за всіма видами контролю, не нижче 60 балів. Розрахунок балів наведено у табл.3-4.

Таблиця 3 – Розрахунок балів із врахуванням контрольного опитування

Поточне оцінювання			Підсумкове опитування (залік)	Сума балів
ЛБ1	ЛБ2	ЛБ3	40	100
20	20	20		

Таблиця 4 – Розрахунок балів із врахуванням контрольного опитування

Поточне оцінювання				Підсумкове опитування (іспит)	Сума балів
ЛБ4	ЛБ5	ЛБ6	ЛБ7	40	100
15	15	15	10		

Отже, сумарна кількість балів, яку отримує студент впродовж семестру, складає 100. В залежності від отриманої суми балів до залікової відомості та в залікову книжку виставляється оцінка згідно національної шкали.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
85 – 89	<b>B</b>	добре	
75 – 84	<b>C</b>		
70 – 74	<b>D</b>		
60 – 69	<b>E</b>	задовільно	не зараховано з можливістю повторного складання
35 – 59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	
1 – 34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	



## ПОЛІТИКИ КУРСУ

При вивченні навчальної дисципліни від здобувача освіти очікуються – дотримання вимог до складання курсу, старанність, коректне і взаємно цікаве ділове спілкування здобувач/викладач, дотримання засад академічної доброчесності.

*Політика щодо відвідування, дедлайнів та перескладання:*

- усі види робіт, передбачені курсом, усі завдання, передбачені програмою, мають бути виконані у встановлений термін;
- самостійну роботу здобувач виконує відповідно до методичних вказівок та визначених викладачем завдань і термінів;
- ліквідація заборгованості відбувається під час проведення консультацій з дисципліни, за оприлюдненим графіком.

*Політика щодо академічної доброчесності:*

- у нашому університеті академічна доброчесність передбачається за замовчуванням; це означає, що викладач очікує, що всі здані роботи є результатом розумової праці та творчості конкретного здобувача; під час вивчення дисципліни здобувачі повинні дотримуватись основних принципів та цінностей академічної доброчесності та етики академічних взаємовідносин;
- Ви зобов'язані з повагою та толерантністю ставитися до всіх членів академічної спільноти; не допускати поведінку, яка ставить під сумнів чесність та сумлінність Вашого навчання; складати всі завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб; надавати для оцінювання лише результати власної роботи; не вдаватися до кроків, які можуть нечесно покращити Ваші результати чи погіршити/покращити результати інших здобувачів;
- дотримання академічної доброчесності здобувачами освіти передбачає: самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання; недопущення академічного плагіату, фальсифікації, фабрикації й посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;
- порушення здобувачами освіти норм чинного законодавства про академічну доброчесність та етику взаємовідносин, може спричинити застосування заходів дисциплінарного характеру, і Ви будете нести академічну (повторне вивчення дисципліни, позбавлення академічної стипендії, відрахування з Університету та ін.) та/або інші види відповідальності.

При вивченні курсу політика дотримання академічної доброчесності визначається Кодексом академічної доброчесності НУ «Запорізька політехніка» [https://zp.edu.ua/uploads/dept\\_nm/Nakaz\\_N253\\_vid\\_29.06.21.pdf](https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Nakaz_N253_vid_29.06.21.pdf)



## ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДЛЯ РОБОТИ НА КУРСІ

Служби підтримки:

- Система дистанційного навчання НУ «Запорізька політехніка» (Система Moodle) <https://moodle.zp.edu.ua/>;
- Електронний Інституційний репозиторій НУ «Запорізька політехніка» <http://eir.zp.edu.ua/>;
- Інформаційні електронні ресурси наукової бібліотеки НУ «Запорізька політехніка» <http://library.zp.edu.ua/>.

Щоб мати доступ до навчально-методичних розробок курсу необхідно мати особистий доступ до університетської навчальної платформи Moodle.