

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова  
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

 **ЗАТВЕРДЖЕНО**  
Проректор з науково-педагогічної роботи  
С.О. Слободян

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**Program of the Discipline**

**МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ І АДАПТИВНИХ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛІННЯ**  
**Modeling Of Optimal And Adaptive Control Systems**

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
тип дисципліни обов'язкова  
мова(и) викладання українська/англійська (за проханням студентів)  
Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»  
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані системи управління та автоматика

Миколаїв, 2023 рік

робоча програма навчальної дисципліни «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітня програма «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика».

“ 28 ” березня 2023 р. – 17 с.

Розробник: доктор техн. наук, професор Тимченко В.Л., професор кафедри комп'ютеризованих систем управління

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» узгоджено з гарантом освітньої програми «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»

Гарант ОП

 (А.М. Топалов)

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» розглянуто на засіданні кафедри комп'ютеризованих систем управління  
Протокол від “13” квітня 2023 року № 10.

Завідувач кафедри КСУ  (О.О. Черно)

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» розглянуто методичною радою Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки

Протокол від “18” <sup>05</sup> 2023 року № 09.

Голова  (Д.О. Жук)

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» погоджено з навчальним відділом

Начальник відділу  (А.В. Лабарткава)

Робочу програму навчальної дисципліни «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» затверджено Навчально-методичною радою НУК

Протокол № 04 від «14» <sup>05</sup> 2023 р.

Голова НМР НУК 

© Тимченко В.Л., 2023 рік

© НУК, 2023 рік

### Анотація

Навчальна дисципліна «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» є нормативною дисципліною професійної підготовки фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика» зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації».

Стрімкий розвиток аерокосмічної галузі привів до створення сучасної системи керування багатовимірними динамічними об'єктами в умовах невизначеності, що базується на теорії оптимальних процесів та адаптивних і робастних методів синтезу систем автоматичного керування (САК). Побудова сучасних ефективних САК рухомими об'єктами з точки зору точності, максимальної швидкодії чи мінімуму витраченої енергії при функціонуванні в умовах невизначеності потребує врахування нелінійності, нестационарності і стохастичності процесів та застосування методів класичного варіаційного числення, принципу максимуму, робастно-оптимального керування. В курсі вивчаються основні принципи формування та моделювання багатовимірних динамічних систем, методи лінеаризації нелінійних систем, вивчаються основні характеристики стохастичних систем. Особливу увагу приділено вивченню методів синтезу оптимального керування, формуванню критеріїв оптимальності, принципів побудови різноманітних адаптивних систем, синтезу робастного керування в умовах невизначеностей. Розглядаються практичні задачі синтезу оптимального керування рухомими об'єктами.

**Ключові слова:** моделювання, багатовимірні системи, нелінійні та нестационарні системи, керуваність, оптимальне керування, адаптивне та робастне керування.

### Abstract

The discipline "Modeling of Optimal and Adaptive Control Systems" is a normative discipline of professional training of specialists of the second (master's) level of higher education in the educational-professional program "Computerized Control Systems and Automation" in specialty 174 "Automation, computer integrated technologies and robotics" in the field of knowledge 17 "Electronics, automation and electronic communications".

The rapid development of the aerospace industry has led to the creation of a modern control system for multidimensional dynamic objects in conditions of uncertainty, based on the theory of optimal processes and adaptive and robust methods of synthesis of automatic control systems (ACS). The construction of modern efficient SAC moving objects in terms of accuracy, maximum speed or minimum energy consumption under uncertainty requires consideration of nonlinearity, nonstationarity and stochasticity of processes and the use of classical variational calculus, maximum, robust-optimal control. The course studies the basic principles of formation and modeling of multidimensional dynamical systems, methods of linearization of nonlinear systems, studies the basic characteristics of stochastic systems. Particular attention is paid to the study of methods of synthesis of optimal control, the formation of criteria for optimality, the principles of construction of various types of adaptive systems, the synthesis of robust control in conditions of uncertainty. Practical problems of synthesis of optimal control of moving objects are considered.

**Keywords:** modeling, multidimensional systems, nonlinear and nonstationary systems, controllability, optimal control, adaptive and robust control.

## ЗМІСТ

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Опис навчальної дисципліни.....                                                            | 5  |
| 2. Мета вивчення навчальної дисципліни.....                                                   | 6  |
| 3. Передумови для вивчення навчальної дисципліни .....                                        | 6  |
| 4. Очікувані результати навчання .....                                                        | 6  |
| 5. Програма навчальної дисципліни .....                                                       | 7  |
| 6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування ..... | 10 |
| 7. Форми поточного та підсумкового контролю .....                                             | 11 |
| 8. Критерії оцінювання результатів навчання .....                                             | 11 |
| 9. Засоби навчання .....                                                                      | 14 |
| 10. Рекомендовані джерела інформації .....                                                    | 14 |
| Додаток 1.....                                                                                | 16 |

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників                                                                         | Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень                                                                                                         | Характеристика навчальної дисципліни                         |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | денна форма навчання                                         | заочна форма навчання |
| Кількість кредитів - 6                                                                          | Галузь знань<br>17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»                                                                                                | Нормативна з циклу дисциплін професійної підготовки магістра |                       |
| Модулів - 2                                                                                     | Спеціальність<br>174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка»<br><br>Освітня програма<br>«Комп’ютеризовані системи управління та автоматика» | Рік підготовки                                               |                       |
| Змістових модулів - 4                                                                           |                                                                                                                                                                          | 5-й                                                          |                       |
| Курсовий проект на тему: «Оптимальна система керування рухомим об'єктом»                        |                                                                                                                                                                          | Семестр                                                      |                       |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | 10-й                                                         |                       |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          |                                                              |                       |
| Загальна кількість годин - 180                                                                  |                                                                                                                                                                          |                                                              |                       |
| Тижневих годин для денної форми навчання:<br>аудиторних – 3;<br>самостійної роботи студента – 9 | Освітній рівень:<br>другий (магістерський)                                                                                                                               | Лекції                                                       |                       |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | 30 год                                                       | 10 год                |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | Практичні роботи                                             |                       |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | -                                                            | -                     |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | Лабораторні роботи                                           |                       |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | 15 год                                                       | 6 год                 |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | Самостійна робота, включаючи курсовий проект                 |                       |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | 135 год                                                      | 164 год               |
|                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | Вид контролю:<br>КП, екзамен                                 |                       |

## 2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Робоча навчальна програма складена на підставі освітньо-професійної програми «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика» для підготовки здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Дисципліна «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» відноситься до циклу дисциплін професійної підготовки магістра.

Метою вивчення дисципліни є придбання студентами знань та вмінь у дослідженні та проектуванні оптимальних і адаптивних систем автоматичного керування (САК).

Завдання дисципліни полягає у вивченні методів математичної оптимізації, здобуття необхідних знань, умінь і навичок при проектуванні оптимальних та адаптивних систем та розробці оптимальних та адаптивних алгоритмів керування.

*Загальні компетентності:*

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК3);
- вміння формулювати, ставити та вирішувати проблеми (ЗК5);

*Спеціальні (фахові) компетентності:*

- здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами (СК3);
- здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами (СК6);
- здатність застосовувати проблемно-орієнтовані методи аналізу, синтезу та оптимізації систем автоматизації, кіберфізичних виробництв, процесів управління технологічними комплексами (СК11);
- здатність застосовувати знання автоматики, мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій для проектування та експлуатації комп'ютеризованих систем керування спеціальними технічними пристроями та системами, зокрема робототехнічними комплексами та технічними засобами суден (СК13).

## 3. Передумови для вивчення навчальної дисципліни

Передумовами для вивчення навчальної дисципліни «Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління» є наступні навчальні дисципліни:

- Вища математика;
- Теорія автоматичного управління;
- Системи керування морськими рухомими об'єктами.

## 4. Очікувані результати навчання

Програмні результати навчання полягають в наступному:

- Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, сенсорних технологій, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв (РН1) Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами (РН4);
- Застосовувати сучасні технології наукових досліджень, спеціалізований математичний інструментарій для дослідження, моделювання та ідентифікації об'єктів автоматизації (РН13);
- Застосовувати методи аналізу, синтезу та оптимізації кіберфізичних виробництв, систем автоматизації управління виробництвом, життєвим циклом продукції та її якістю (РН15);
- Створювати комп'ютеризовані системи керування спеціальними технічними пристроями та системами, зокрема робототехнічними комплексами та технічними засобами суден (РН18).

## 5. Програма навчальної дисципліни

### Модуль 1. Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління.

#### Змістовий модуль 1. Математичне моделювання лінійних та нелінійних систем.

*Тема 1. Основи моделювання лінійних багатовимірних систем.*

*Лекція 1.* Основні поняття теорії моделювання 2 год. [2, с. 315-329], [12, с. 2-6].

*Лекція 2.* Моделювання алгебраїчних векторно-матричних рівнянь. Рівняння для систем з зворотнім зв'язком. Визначення передатної матриці системи. 2 год. [1, с. 139-143], [2, с. 333-341], [6, с. 16-20]

*Лекція 3.* Математичне моделювання диференціальних систем з постійними коефіцієнтами. Фундаментальна матриця рішень. Неоднорідні рівняння. 2 год. [2, с. 352-358], [12, с. 6-10].

*Лекція 4.* Метод оператора Лапласа й розкладання Сильвестра для знаходження фундаментальної матриці. 2 год. [2, с. 358-363], [12, с. 10-15].

*Тема 2. Основи моделювання нестационарних та нелінійних систем багатовимірних систем.*

*Лекція 5.* Моделювання диференціальних систем зі змінними коефіцієнтами. 2 год. [2, с. 363-369].

*Лекція 6.* Моделювання нелінійних систем. Методи рішення нелінійних систем. 2 год. [2, с. 21-34], [4, с. 305-320], [12, с. 15-22].

#### Змістовий модуль 2. Математичне моделювання стохастичних систем.

*Тема 3. Основні методи аналізу стохастичних систем.*

*Лекція 7.* Моделювання стохастичних диференціальних систем. Спектральна щільність випадкових сигналів. 2 год. [4, с. 197-201], [2, с. 12-14].

*Лекція 8.* Формуючі фільтри. Випадкові характеристики морського хвилювання та вітру. 2 год. [5, с. 98-108], [12, с. 14-16].

*Тема 4. Моделювання стохастичних систем керування.*

*Лекція 9.* Статистичні методи аналізу та синтезу лінійних неперервних систем керування. 2 год. [4, с. 210-214], [2, с. 8-14].

#### Змістовий модуль 3. Основні поняття та класифікація методів оптимізації та адаптації САК.

Теорія оптимального керування. Адаптивне та робастне керування

*Тема 5. Основи оптимізації багатовимірних систем.*

*Лекція 10.* Основні поняття та методи оптимізації САК. Критерії оптимізації. 2 год. [2, с. 137-141], [4, с. 343-352], [6, с. 198-211]

*Лекція 11.* Метод простору змінних стану. 2 год. [1, с. 139-159], [2, с. 333-343], [6, с. 139-159] [5, с. 16-20].

*Тема 6. Аналіз багатовимірних систем керування.*

*Лекція 12.* Спостережуваність та керованість систем. 2 год. [2, с. 374-380], [6, с. 214-219].

*Тема 7. Методи синтезу оптимального керування.*

*Лекція 13.* Класичне варіаційне числення. Рівняння Ейлера-Лагранжа. 2 год. [2, с. 137-147], [3, с. 343-353].

*Лекція 14.* Принцип максимуму Понтрягіна. 2 год. [2, с. 147-158], [4, с. 360-367], [6, с. 202-206].

*Тема 8. Адаптивні та робастні системи в умовах невизначеностей.*

*Лекція 15.* Види адаптивних систем. Моделювання адаптивних систем. Робастні системи. 2 год. [2, с. 251-264], [4, с. 385-397], [6, с. 253-265].

**Модуль 2.** Проектування оптимальної системи керування рухомим об'єктом другого порядку згідно критеріям максимальної швидкодії та мінімуму енерготрат.

### Тематичний план навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем                                                                                                                | Кількість годин |              |      |       |      |              |              |      |       |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|------|-------|------|--------------|--------------|------|-------|------|
|                                                                                                                                              | денна форма     |              |      |       |      | заочна форма |              |      |       |      |
|                                                                                                                                              | усього          | у тому числі |      |       |      | усього       | у тому числі |      |       |      |
|                                                                                                                                              |                 | л            | лаб. | практ | с.р. |              | л            | лаб. | практ | с.р. |
| Модуль 1. Моделювання оптимальних і адаптивних систем управління                                                                             |                 |              |      |       |      |              |              |      |       |      |
| Змістовий модуль 1. Математичне моделювання лінійних та нелінійних систем.                                                                   |                 |              |      |       |      |              |              |      |       |      |
| Тема 1. Основи моделювання лінійних багатовимірних систем.                                                                                   | 16              | 8            | 4    | -     | 4    | 14           | 2            | 2    | -     | 10   |
| 10Тема 2. Основи моделювання нестационарних та нелінійних систем багатовимірних систем.                                                      | 14              | 4            | 6    | -     | 4    | 16           | 2            | 2    | -     | 12   |
| Разом за змістовим модулем 1                                                                                                                 | 30              | 12           | 10   | -     | 8    | 30           | 4            | 4    | -     | 22   |
| Змістовий модуль 2. Математичне моделювання стохастичних систем.                                                                             |                 |              |      |       |      |              |              |      |       |      |
| Тема 3. Основні методи аналізу стохастичних систем.                                                                                          | 12              | 4            | 2    | -     | 6    | 12           | 2            | -    | -     | 10   |
| Тема 4. Моделювання стохастичних систем керування.                                                                                           | 18              | 2            | 3    | -     | 13   | 18           | -            | 2    | -     | 16   |
| Разом за змістовим модулем 2                                                                                                                 | 30              | 6            | 5    | -     | 19   | 30           | 2            | 2    | -     | 26   |
| Змістовий модуль 3. Основні поняття та класифікація методів оптимізації та адаптації САК. Теорія оптимального керування. Адаптивне керування |                 |              |      |       |      |              |              |      |       |      |
| Тема 5. Основи оптимізація багатовимірних систем.                                                                                            | 6               | 4            | -    | -     | 2    | 8            | 2            | -    | -     | 6    |
| Тема 6. Аналіз багатовимірних систем керування.                                                                                              | 7               | 2            | -    | -     | 5    | 6            | -            | -    | -     | 6    |
| Тема 7. Методи синтезу оптимального керування.                                                                                               | 9               | 4            | -    | -     | 5    | 10           | 2            | -    | -     | 8    |
| Тема 8. Адаптивні та робастні системи в умовах невизначеностей.                                                                              | 8               | 2            | -    | -     | 6    | 6            | -            | -    | -     | 6    |
| Разом за змістовим модулем 3                                                                                                                 | 30              | 12           | -    | -     | 18   | 30           | 4            | -    | -     | 26   |
| Разом за модулем 1                                                                                                                           | 90              | 30           | 15   | -     | 45   | 90           | 10           | 6    | -     | 74   |
| Модуль 2. Проектування оптимальної системи керування рухомих об’єктом                                                                        |                 |              |      |       |      |              |              |      |       |      |
| Курсовий проект на тему: “Оптимальна система керування рухомих об’єктом”                                                                     | 90              | -            | -    | -     | 90   | 90           | -            | -    | -     | 90   |
| Усього годин                                                                                                                                 | 180             | 30           | 15   | -     | 135  | 180          | 10           | 6    | -     | 164  |

### Теми лабораторних робіт

| № з/п | Назва теми                                                                                                                                                          | Кількість годин |              |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|
|       |                                                                                                                                                                     | Денна форма     | Заочна форма |
| 1     | Моделювання векторно-матричних перетворень. Множення двох заданих матриць $4 \times 4$ . Транспонування та знаходження зворотної матриці. Обчислення рангу матриці. | 2               | 2            |
| 2     | Моделювання та рішення алгебраїчної системи рівняння четвертого порядку.                                                                                            | 2               | 2            |
| 3     | Моделювання квадратичної форми.                                                                                                                                     | 2               | -            |
| 4     | Моделювання фундаментальної матриці рішень.                                                                                                                         | 2               | 2            |
| 5     | Моделювання й знаходження фундаментальної матриці диференціальної системи 3-го порядку за допомогою розкладання Сильвестра.                                         | 2               | -            |
| 6     | Моделювання та лінеаризація нелінійних систем за допомогою ряду Тейлора та найменших квадратів. Порівняльний аналіз двох методів.                                   | 2               | -            |
| 7     | Моделювання випадкових впливів у неперервних системах.                                                                                                              | 3               | -            |

### Теми практичних занять

Практичні заняття програмою не передбачено.

### Самостійна робота

Самостійна робота здобувача вищої освіти є однією з форм організації навчання, основною формою оволодіння навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових навчальних занять.

Навчальний матеріал дисципліни, передбачений для засвоєння здобувачем вищої освіти в процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль поряд з навчальним матеріалом, який опрацьовувався при проведенні навчальних занять.

Розподіл годин самостійної роботи для денної форми навчання:

- підготовка до лекційних занять – 0,5-1 год. / на 1 лекцію;
- підготовка до лабораторних робіт – 1-2 год. / 1 робота;
- підготовка до контрольних заходів – 5 год. на 1 захід;
- виконання та захист курсового проекту – 90 год.

### Завдання для самостійної роботи

| №            | Вид роботи                        | Кількість годин      |                       |
|--------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|
|              |                                   | Денна форма навчання | Заочна форма навчання |
| 1            | Підготовка до лекцій              | 20                   | 49                    |
| 2            | Підготовка до лабораторних робіт  | 10                   | 10                    |
| 3            | Підготовка до контрольних заходів | 15                   | 15                    |
| 4            | Підготовка та захист КР           | 90                   | 90                    |
| <b>Разом</b> |                                   | <b>135</b>           | <b>164</b>            |

### Індивідуальне науково-дослідне завдання

Програмою передбачено наступні форми індивідуальної роботи:

- індивідуальні консультації з дисципліни, які проводяться зі студентами за окремим графіком, затвердженим завідувачем кафедри, з метою отримання студентом відповіді на окремі теоретичні чи практичні питання та для пояснення певних теоретичних положень чи аспектів їх практичного застосування;

- індивідуальне завдання у вигляді курсового проекту, який спрямований на придбання студентами навичок з розробки алгоритмів оптимального керування динамічними об'єктами, використання методів лінеаризації для дослідження динамічних систем, пошуку адаптивних алгоритмів функціонування автоматичних систем та критеріїв оптимальності та керованості.

Завдання до курсового проектування: Розробити оптимальну систему керування рухомим об'єктом другого порядку згідно критеріям максимальної швидкодії та мінімуму енерготрат.

Початкові дані: математична модель рухомого об'єкту, початкові та кінцеві умови, вагові коефіцієнти.

Результати курсового проекту оформлюються у вигляді пояснювальної записки та результатів креслення на аркуші формату А1. На лист виносяться результати моделювання на ЕОМ графіків змінних стану динамічної моделі та оптимальних керуючих впливів, блок схеми чисельної процедури та оптимального регулятора. Площа листа має бути заповнена не менш ніж на 80 %.

Пояснювальна записка має мати обсяг не менш ніж 30 сторінок та містити детальний опис всіх етапів курсового проекту.

У вступі до курсового проекту слід коротко описати існуючі методи оптимізації, область їх застосування для вирішення практичних задач, аргументувати вибір конкретного методу оптимізації в даному проекті.

У висновках слід вказати, чи вдалося розв'язати крайову задачу оптимізації, забезпечити збігання чисельної процедури. Проаналізувати результати моделювання з точки зору виконання поставленої задачі оптимізації згідно з заданим критерієм оптимальності. Запропонувати шляхи підвищення швидкодії чисельних алгоритмів оптимізації.

| Основні етапи з курсового проектування                                                           | Години сам. роб. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. Описати диференційну систему рівнянь.                                                         | 8                |
| 2. Сформулювати граничні умови та критерії оптимальності.                                        | 12               |
| 3. Привести модель рухомого об'єкту у змінних стану.                                             | 14               |
| 4. Сформулювати та дослідити критерії керованості та спостережуваності систем.                   | 14               |
| 5. Провести синтез управляючої функції. Обчислити постійні інтегрування                          | 14               |
| 6. Сформулювати рівняння динаміки рухомого об'єкту та оптимальної траєкторії у різницевої формі. | 14               |
| 7. Розробити алгоритм рішення загальної крайової задачі оптимізації руху                         | 14               |
| <b>Усього годин</b>                                                                              | <b>90</b>        |

Результати курсової роботи оформлюються у вигляді пояснювальної записки та презентації Microsoft Power Point.

КП виконується студентом самостійно за консультативною допомогою викладача. Студент несе особисту відповідальність за прийняті в роботі рішення і правильність виконання графічної та текстової частин КП.

## **6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування**

Методи навчання:

- лекція;
- ілюстрування;
- лабораторна робота;
- інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки (проводиться одноразово на першому занятті в лабораторії);
- робота з літературою;

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- екзамен;
- курсовий проект;
- презентації результатів виконання завдань та досліджень;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- завдання на лабораторному обладнанні;
- завдання на комп'ютерах.

## 7. Форми поточного та підсумкового контролю

Рівень засвоєння матеріалу дисципліни здійснюється шляхом проведення поточного модульного контролю (ПМК) у вигляді тестових завдань різної складності, захисту звітів з лабораторних робіт, виконання індивідуального завдання та підсумкового контролю у формі письмового екзамену.

Підсумкова оцінка з дисципліни складається з оцінок, отриманих за поточний (модульний) контроль, результатів здачі та захисту лабораторних робіт, результатів виконання індивідуального завдання та екзамену. У разі успішного навчання протягом семестру, підсумкова оцінка може бути виставлена без іспиту.

За всі контрольні заходи (КЗ) протягом семестру студент може отримати від 0 до 100 балів. Умовою допуску студента до КЗ є мінімальна сума балів, яку студент повинен набрати у разі виконання всіх елементів модулів. Якщо студент не набрав мінімальну суму балів, то він не допускається до КЗ і йому рекомендується набрати цю кількість за рахунок виконання додаткового індивідуального завдання. Студент, який отримав за всі КЗ протягом семестру не менше 60 балів, за його бажанням, може бути звільненим від семестрового екзамену. Студент, який набрав за всі КЗ менше 60 балів, обов'язково складає підсумковий екзамен (проводиться у письмовій формі в екзаменаційну сесію), до якого він допускається, якщо має за виконання всіх передбачених елементів модулів необхідну мінімальну суму 35 балів.

Результуюча оцінка виставляються відповідно до шкали оцінювання ECTS.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за результатом підсумкового контролю | Оцінка ECTS |
|-------------------------------------------------|-------------|
| 90 – 100                                        | A           |
| 82 – 89                                         | B           |
| 74 – 81                                         | C           |
| 64 – 73                                         | D           |
| 60 – 63                                         | E           |
| 35 – 59                                         | FX          |
| 0 – 34                                          | F           |

## 8. Критерії оцінювання результатів навчання

Звіти з лабораторних завдань оцінюються за двома умовами: підготовка звіту та захист звіту.

Рівень підготовки звіту оцінюється за трьома критеріями:

- вчасність здавання звіту;
- правильність виконання завдання;
- відповідність оформлення звіту вимогам.

Рівень захисту звіту оцінюється за такими критеріями:

- правильність відповіді;
- оперативність надання відповіді.

| Лабораторна (практична) робота | Критерії оцінювання                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4                              | Роботу виконано самостійно у встановлений термін. Студент самостійно визначає тип задачі, мету написання програми, складає алгоритм раціонального вирішення поставленої задачі. У висновках проведено коректну інтерпретацію результатів. Звіт відповідає встановленим вимогам. |
| 3                              | Роботу виконано самостійно з порушенням встановленого терміну. Студент самостійно виконує всі завдання лабораторної роботи. У висновках проведено коректну інтерпретацію результатів. Звіт відповідає встановленим вимогам.                                                     |
| 2                              | Роботу виконано із підказками викладача з порушенням встановленого терміну. Студент складає алгоритм вирішення поставленої задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.                                                                                                        |
| 1                              | Роботу виконано під керівництвом викладача з порушенням встановленого терміну. Студент пише програму за складеним під керівництвом викладача алгоритмом вирішення поставленої задачі. Складає звіт, що містить неточності і помилки.                                            |
| 0                              | Робота не виконується                                                                                                                                                                                                                                                           |

| Параметри оцінювання | Кільк. балів | Критерії оцінювання за виконання курсового проекту                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пояснювальна записка | 50           | Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; адекватність обраних методів предмету дослідження, грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); використання методів математичної статистики; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку науковому керівнику у відповідності із планом виконання курсової роботи |
|                      | 40           | Зміст роботи відповідає обраній темі, але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                      | 30           | Робота оформлена за вимогами, які пред'являються до курсових робіт, але матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Основні тези роботи розкриті, але недостатньо обґрунтовані, нечітко сформульовано висновки, пропозиції і рекомендації.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                      | 20           | Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                      | 10           | Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає вимогам, які пред'являються до курсових робіт. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Захист роботи        | 50           | Доповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає основні результати дослідження, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції по темі дослідження, під час доповіді вміло використовує презентацію, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                      | 40           | Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, дає правильні відповіді на всі запитання, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                      | 30           | Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення роботи.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                      | 20           | Студент демонструє задовільні знання з теми дослідження, але не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання, та належно обґрунтувати положення роботи.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                      | 10           | Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, не спроможний дати відповідь на запитання, відстоювати свою позицію.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

#### Формування оцінки за курсову роботу

| Пояснювальна записка | Захист роботи | Сума |
|----------------------|---------------|------|
| 50                   | 50            | 100  |

#### Поточний модульний контроль у формі тестування Денна форма

|                          |     |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Правильних відповідей, % | 100 | 90   | 80   | 70  | 60  | 50  | 40  | 30  | 20  | 10  |
| Кількість балів          | 14  | 12,6 | 11,2 | 9,8 | 8,4 | 7,0 | 5,6 | 4,2 | 2,8 | 1,4 |

#### Заочна форма (МКР1, МКР2)

|                          |     |      |      |      |      |     |     |     |     |     |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Правильних відповідей, % | 100 | 90   | 80   | 70   | 60   | 50  | 40  | 30  | 20  | 10  |
| Кількість балів          | 19  | 17,1 | 15,2 | 13,3 | 11,4 | 9,5 | 7,6 | 5,7 | 3,8 | 1,9 |

### Заочна форма (МКРЗ)

|                          |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Правильних відповідей, % | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| Кількість балів          | 20  | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  |

| Форма контролю               | Максимальна кількість балів |                        |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                              | Денна форма                 | Заочна форма           |
| Виконання лабораторних робіт | 7 x 4 балів = 28 балів      | 3 x 4 балів = 12 балів |
| Поточний модульний контроль  | 3 x 14 = 42 бали            | 2 x 19 + 20 = 58 бали  |
| <b>Всього</b>                | <b>70 балів</b>             | <b>70 балів</b>        |

| Кількість балів | Критерії оцінювання за виконання екзаменаційної контрольної семестрової роботи (включає 2 теоретичні питання і одну задачу)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30              | Студент вільно володіє матеріалом; знає методи та алгоритми математичної оптимізації динамічних систем, методи лінеаризації нелінійних систем; вміє провести розрахунки критеріїв керованості та спостережності динамічних систем; знає методи дослідження стохастичних систем; вміє формулювати завдання та вимоги оптимізації динамічних систем керування; використовувати методи оптимальних процесів для конкретних задач та об'єктів керування; розробляти алгоритми оптимального та адаптивного керування; складати функціональні схеми оптимальних і адаптивних САК. |
| 20              | Студент знає методи математичної оптимізації, область їх застосування для вирішення практичних задач, вміє аргументувати вибір конкретного методу оптимізації; лінеаризовувати нелінійні рівняння, моделювати на ЕОМ графіки змінних стану динамічної моделі                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 10              | Студент має уявлення про існуючі методи математичної оптимізації, вміє описати диференціальну систему рівнянь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 0               | Студент має знання та вміння нижче рівня, визначеного попередньою оцінкою                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

### Формування підсумкової оцінки

|                      |      | Денна форма            |                 | Заочна форма         |                 |
|----------------------|------|------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                      |      | Вид роботи             | Кількість балів | Вид роботи           | Кількість балів |
| ЗМ1                  | T1   | Лабораторна робота 1-2 | 8               | Лабораторна робота 1 | 4               |
|                      | T2   | Лабораторна робота 3-5 | 12              | Лабораторна робота 2 | 4               |
|                      | ПМК1 | Тест                   | 14              | Тест                 | 19              |
| ЗМ2                  | T3   | Лабораторна робота 6   | 4               | -                    | -               |
|                      | T4   | Лабораторна робота 7   | 4               | Лабораторна робота 3 | 4               |
|                      | ПМК1 | Тест                   | 14              | Тест                 | 19              |
| ЗМ3                  | T5   | -                      | -               | -                    | -               |
|                      | T6   | -                      | -               | -                    | -               |
|                      | T7   | -                      | -               | -                    | -               |
|                      | T8   | -                      | -               | -                    | -               |
|                      | ПМК1 | Тест                   | 14              | Тест                 | 20              |
| Підсумковий контроль |      | екзамен                | 30              | екзамен              | 30              |
| Всього               |      |                        | 100             |                      | 100             |

#### Штрафні та заохочувальні бали за:

відсутність на лекційному занятті без поважної причини..... – 1 бал  
 відсутність на занятті без поважної причини..... – 3 бали  
 участь у олімпіадах з дисципліни, відповідно..... + 4,6, 8, 10 балів  
 участь у модернізації лабораторних робіт чи виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни..... + 10 балів.

## **9. Засоби навчання**

Для досягнення мети дисципліни та набуття бажаних результатів навчання передбачено застосування наступних засобів навчання:

- комп'ютери, елементи і пристрої моделювання;
- мови програмування: C/C#, Python;
- обчислювальні середовища: MATLAB, Simulink, Mathcad, Power Point.

## **10. Рекомендовані джерела інформації**

### **Основна література**

1. Дорф, Р., Бишоп, Р. Современные системы управления, М: Изд-во: Лаборатория Базовых Знаний, 2004 – 832 с.
2. Чаки, Ф. Современная теория управления, Москва, Мир, 1975, 410 с.
3. Соколов Ю.Н., Илюшко В.М., Луханин М.И., Урусский О.С., Шамарин А.Ю. Компьютерное проектирование систем оптимального управления, под ред. Ю.Н. Соколова. - К. : «Аванп.-Прим», 2006. - 269 с.
4. Зайцев В.Ф. Теория автоматического управления и регулирования, Высшая школа, Киев, 1988, 424 с.
5. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами, Л., Судостроение, 1988.
6. Ткаченко А.Н. Судовые системы автоматического управления и регулирования, Л., Судостроение, 1984.
7. Поляк, Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление, М.: Наука, 2002. - 303 с.
8. Ушаков, Е. П. Адаптивне керування нестационарними технологічними об'єктами, Львів: Видавництво Української академії друкарства, 2003. - 182 с.
9. Крутько, П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления [Текст] / П. Д. Крутько. - М. : Машиностроение, 2004. - 576 с.
10. Б.М. Гордеев, Ю.Д. Жуков, Тимченко В.Л. О.О. Кудін., О.В. Зівенко Програмне забезпечення контролерів для автоматизації технологічних процесів об'єктів морської інфраструктури, Навчальний посібник Миколаїв, 2014. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 154 с.
11. Тимченко В.Л. Оптимальні та адаптивні системи управління, Методичні вказівки, Миколаїв, 2006. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 24 с.
12. Тимченко В.Л. Д.М.Підопригора І.В.Тимченко Моделювання неперервних динамічних систем, Методичні вказівки, Миколаїв, 2007. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 32 с.
13. Тимченко В.Л. Проектування оптимальних систем управління динамічними об'єктами, Методичні вказівки, Миколаїв, 2006. – Видавництво Національного університету кораблебудування, 24 с.

### **Додаткова**

14. Справочник по теории автоматического управления/ Под ред. А.А. Красовского. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1987.
15. Horowitz, I. M. Survey of quantitative feedback theory (QFT), // Int. Journal of Robust and Non-Linear Control. - 2001. - vol.11. №10. - P.887-921.
16. Балонин, Н.А. Новый курс теории управления движением, СПб : Изд-во, 2000. — 160 с.
17. Тимченко В.Л. Системы робастно-оптимальной стабилизации морских подвижных объектов / Palmarium Academic Publishing. OmniScriptum GmbH&Co, Saarbrücken, Germany. 2015, 195p.(in Russian).

### **Інформаційні ресурси в Інтернет**

1. Введення в теорію оптимального керування.  
<http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/nogin/publ/publ5.pdf>

2. Теорія оптимального керування. Лекції. <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F+%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE+%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F+%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8>
3. Теорія адаптивного керування. Лекції. <https://elib.spbstu.ru/dl/2110.pdf/download/2110.pdf>
4. Control Theory Wiki – [https://en.wikipedia.org/wiki/Control\\_theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Control_theory)
5. Automatic control theory - [https://encyclopediaofmath.org/wiki/Automatic\\_control\\_theory](https://encyclopediaofmath.org/wiki/Automatic_control_theory)

**Питання для модульного контролю****Змістовий модуль 1. Математичне моделювання лінійних та нелінійних систем.**

1. Основні поняття теорії математичного моделювання безперервних систем.
2. Основи векторно-матричного зчислення.
3. Методи пошуку зворотної матриці.
4. Квадратична форма.
5. Рішення алгебраїчних систем.
6. Метод перемінних стану.
7. Рівняння стану для систем з зворотнім зв'язком.
8. Визначення передаточної матриці.
9. Диференційні системи з постійними коефіцієнтами.
10. Фундаментальна матриця рішень.
11. Неоднорідні диференційні системи.
12. Метод оператора Лапласа.
13. Метод розкладань Сильвестра.
14. Моделювання систем зі змінними коефіцієнтами.
15. Стаціонарні та нестаціонарні системи.
16. Основні види нелінійностей.
17. Лінеаризація поблизу робочої точки.
18. Гармонійна лінеаризації систем.
19. Модифікований метод лінеаризації.
20. Статистична лінеаризації.

**Змістовий модуль 2. Математичне моделювання стохастичних систем.**

1. Моделювання стохастичних систем.
2. Основні характеристики випадкових процесів.
3. Спектральна щільність в лінійних системах.
4. Поняття „білого шуму”.
5. Формуючі фільтри.
6. Випадкові характеристики морського хвилювання.
7. Випадкові характеристики вітрового збурення.
8. Статистичний аналіз лінійних систем.
9. Середньоквадратична похибка.
10. Моделювання крайових задач.
11. Види крайових умов.
12. Методи оптимізації шагу інтегрування
13. Види різницевих рівнянь.
14. Критерій керованості.
15. Критерій спостережності.
16. Використання пакету Matlab та Mathcad для моделювання систем.

**Змістовий модуль 3. Основні поняття та класифікація методів оптимізації та адаптації САК.**

1. Основні поняття теорії оптимальних процесів.
2. Критерії оптимізації.
3. Властивості нелінійних систем.
4. Рівняння стану.
5. Види загальної спостережуваності в просторі стану.
6. Умови спостережуваності стаціонарної системи.
7. Принцип двоїстості в теорії керованості та спостережуваності.
8. Умови спостережуваності нестаціонарної системи на основі матриці Коші.
9. Критерії спостережуваності стаціонарних та нестаціонарних систем з дискретним часом.
10. Керованість лінійних стаціонарних систем.
11. Критерії керованості лінійних стаціонарних систем з дискретним часом.

12. Умови керованості нестационарних систем, в тому числі з дискретним часом.
13. Поняття керованості нелінійних систем.

**Змістовий модуль 4. Теорія оптимального керування. Адаптивне керування.**

1. Автономні та неавтономні об'єкти.
2. Лінійні оптимальні швидкодії.
3. Критерій швидкодії.
4. Оптимізація систем з транспортним запізненням.
5. Динамічне програмування в неперервній формі.
6. Динамічне програмування в дискретній формі.
7. Динамічне програмування і квазілінеаризація крайових задач.
8. Зв'язок динамічного програмування з класичним численням.
9. Зв'язок динамічного програмування з принципом максимуму.
10. Принцип максимуму для задач мінімуму витрати енергії.
11. Види адаптивних систем.
12. Пасивна адаптація.
13. Активна адаптація.
14. Адаптивні системи з великим коефіцієнтом підсилення.
15. Адаптивні системи з заданим коефіцієнтом затухання.
16. Адаптивні системи з еталонною моделлю.
17. Самоадаптація систем.
18. Методи адаптивного пошуку.
19. Градієнтний метод пошуку.
20. Критерій керованості.
21. Критерій спостережності.
22. Методи ідентифікації.
23. Основні характеристики випадкових процесів.
24. Синтез оптимального керування в стохастичних системах.
25. Оптимальна фільтрація.
26. Фільтр Калмана.
27. Адаптивні фільтри.