



# [RE-223] РАДІОЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ З ЦИФРОВИМ ОБРОБЛЕННЯМ СИГНАЛІВ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	-
Спеціальність	
Освітня програма	172Мп РКС - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 49258)172Мн РКС - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 49259)172Мп РКС+ - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 57922)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 36 год, Практ. год, Лаб. 18 год, СРС. 66 год )
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: <a href="#">Чмельов В. О.</a> , Лаб.: <a href="#">Чмельов В. О.</a> , СРС.: <a href="#">Чмельов В. О.</a>
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=6541">https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=6541</a>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

...

Опанування навчального матеріалу дисципліни дає студенту можливість вивчити теоретичні основи та особливості цифрової обробки сигналів (ЦОС) в сучасних радіолокаційних системах

(РЛС), принципи побудови підсистем ЦОС, у відповідності до задач моніторингу контрольного простору. Досліджуються підходи до підвищення ефективності роботи РЛС за рахунок застосування ЦОС в умовах, коли діють пасивні та активні завади для роботи РЛС. Вивчаються різні науково-технічні рішення щодо підвищення імовірності виявлення цілей РЛС, проводиться ї порівняльний аналіз, та визначається їх переваги і недоліки.

**Мета навчальної дисципліни.** Навчити студентів, у відповідності до поставленого тактико-технічного завдання, розробляти підсистеми та алгоритми ЦОС для забезпечення заданої ефективності РЛС.

**Предмет вивчання:** сучасні РЛС, принципи побудови алгоритмів ЦОС в РЛС, методи боротьби з активними та пасивними завадами за рахунок застосування ЦОС, оцінка ефективності прийнятих технічних рішень.

### **Компетентності, які будуть набуті:**

ФК3           Здатність до системного мислення, вирішення задач розробки, оптимізації та удосконалення структурних елементів радіотехнічних систем

ФК6           Здатність демонструвати і використовувати фундаментальні знання принципів побудови сучасних радіотехнічних систем, перспективні напрямки їх розвитку.

ФК7           Здатність демонструвати та застосовувати на практиці знання методів моделювання динамічних систем, оцінки ефективності радіотехнічних систем.

ФК10          Здатність застосовувати знання методів обробки та відображення інформації в сучасних системах електронних комунікацій та радіотехніки, і демонструвати уміння проектування, розрахунку та програмування комп'ютеризовані системи.

ФК22          Здатність застосовувати методи, способи і алгоритми цифрової обробки радіолокаційної інформації в сучасних радіолокаційних системах.

### **Програмні результати навчання, що будуть отримані:**

ПРН 8 Поєднувати застосування сучасних методів для розроблення енергозберігаючих пристроїв з мінімальним рівнем випромінювання, що забезпечують безпеку життєдіяльності людей та їхній захист від можливих наслідків електромагнітного випромінювання.

ПРН 17 Виконувати обрахунки параметрів сигналів та процесів радіотехнічних комп'ютеризованих систем, аналізувати втрати при поширенні сигналу у навколишньому просторі на основі спеціального програмного забезпечення.

ПРН 20 Здійснювати радіовимірювання місцеположення рухомого об'єкту та ґрунтовно обирати засоби для його проведення; виконувати обробку результатів однократних та багатократних вимірювань, аналізувати їх достовірність.

ПРН 23 Розробляти структуру та визначати основні параметри сучасних цифрових радіолокаційних систем у відповідності до вимог їх функціонального призначення.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

...

**Пререквізити:** навчальна дисципліна базується на знаннях з таких дисциплін: «Вища математика», «Сигнали та процеси в радіотехніці», «Цифрове оброблення сигналів», «Технології оптимального оброблення сигналів», «Конструкції антен радіолокаційних і радіонавігаційних систем»,

.

**Постреквізити:** Дисципліна є основою для виконання магістерської дисертації, та атестації здобувача вищої освіти.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

...

## **Навчальний модуль № 1. Сучасні радіолокаційних систем з цифровою обробкою сигналів.**

**Тема 1.** . Загальна засади теорії побудови РЛС з ЦОС.

**Тема 2.** Підходи до підвищення ефективності роботи цифрових РЛС

**Тема 3.** Складні радіолокаційні сигнали РЛС з ЦОС.

**Тема 4.** Оптимальна фільтрація. Кореляційний прийом.

**Тема 5.** Методи огляду простору цифровими антенними решітками. Методи вимірювання кутових координат.

**Тема 6.** Цифрові системи боротьби з активними завадами роботі РЛС.

**Тема 7.** Цифрові системи боротьби з пасивними перешкодами.

**Тема 8.** Підвищення імовірності виявлення цілей. Цифровий накопичувач відбитих від цілі сигналів

**Тема 9.** Підходи та шляхи розвитку радіолокаційних систем.

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

...

#### **Література базова:**

1. Теорія радіолокаційних систем (видання друге): підручник/ Б.Ф. Бондаренко, В.В. Вишнівський, В.П. Долгушин та іню; за заг.ред. С.В. Ленкова. – К. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011.- 383с.
2. Методи безпечної обробки інформації у багатопозиційних системах радіолокації монографія / Ігор Пархомей, Валерій Козловський, Сергій Гнатюк, Мирослав Рябий ; Національний авіаційний університет., Київ : Центр учбової літератури, 2018. - 230 с.
3. Теорія радіолокаційних та радіонавігаційних систем : навч. посіб. для студ. внз за напрямком "Радіотехніка" / Я. І. Лепіх ; Одеська нац. морська акад. Одеса : Екологія, 2008. -224 с.
4. Оптимізація проектування радіотехнічних систем [Текст]: метод. вказівки до лаборатор. робіт з дисципліни «Оптимізація проектування радіотехнічних систем» для студ. радіотехнічного ф-ту / Уклад.: С.Я. Жук, С.В. Вишневий - К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 62с.
5. Чмельов, В. О. Радіолокаційні системи з цифровим обробленням сигналів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / В. О. Чмельов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 74 с. – Назва з екрану. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57321>

#### **Література додаткова:**

1. Bassem R. Mahafza Radar systems analysis and design using matlab, / International Standard Book Number-13: 978-1-4398-8496-6 (eBook - PDF) 2013 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. Режим доступу: <https://ru.ua1lib.org/book/463133/1eba6c?dsourc=recommend>.
2. Реутська, Ю. Ю. Моделювання радіолокаційного сигналу на основі аналізу роботи імпульсно-доплерівського радару в завадовій обстановці / Реутська Ю. Ю. // Міжнародна

науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» : матеріали конференції, 10-16 березня 2014 р., м. Київ / НТУУ «КПІ», РТФ. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – С. 177-179.

3. Чесановський І. І. Підвищення завадостійкості обробки сигналів в некогерентних радіолокаційних системах / Чесановський І. І., Іванов А. В., Гурман І. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування : збірник наукових праць. – 2013. – № 54. – С. 68–74. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/7174>

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

#### Навчальний модуль № 1. Сучасні радіолокаційних систем з цифровою обробкою сигналів.

##### Тема 1. .

Загальна засади теорії побудови РЛС з ЦОС.

Лекція 1 . Предмет і зміст дисципліни..Класифікація РЛС з ЦОС.

Лекція 2.Особливості РЛС з ЦОС. Інструменти розробки параметрів РЛС, моделювання роботи РЛС з ЦОС, та програмування цифрових пристроїв обробки сигналів РЛС.

Література: [1,2,]

*Завдання для СРС.* Загальна характеристика цифрових РЛС.

**Тема 2. .** Підходи до підвищення ефективності роботи цифрових РЛС Лекція 3. Аналіз роботи цифрової анерної решітки РЛС.Методи адаптації ЦАР до роботи в умовах дії завад. Лекція 4 Складні радіолокаційні сигнали. Функція невизначеності. Перетин функції невизначеності.

Література:

Література: [1,2,3]

*Завдання для СРС.* Основні показники роботи цифрових пристроїв. Швидкодія, рівні квантування, як системні втрати в обробці сигналів .

##### Тема 3 Складні радіолокаційні сигнали.

Лекція 5. ЛЧМ та складні сигнали з бінарною фазовою маніпуляцією. Визначення кореляційної функції складних сигналів.

Лекція 6 Автомобільний радар з ЛЧМ-сигналом.

Література: [1,3,4]

*Завдання для СРС.* Характеристики складних сигналів. Підходи до побудови кореляційної функції складних сигналів РЛС.

**Тема 4.** Оптимальна фільтрація. Кореляційний прийом.

Лекція 7. Виявлення радіолокаційних сигналів.

Лекція 8 Побудова кореляційного приймача. Цифрові оптимальні фільтри сигналів РЛС.

[1,2,5]

*Завдання для СРС.* Цифрові оптимальні фільтри (АЧХ, ФЧХ), Розділення складних сигналів.

**Тема 5.** Методи огляду простору цифровими антенними решітками (ЦАР).

Лекція 9. Керування променем ЦАР. Методи вимірювання кутових координат.

Лекція 10 . Просторова обробка сигналів.

Література: [2,4]

*Завдання для СРС.* Алгоритм роботи ФАР та ЦАР. Відмінності та переваги.

**Тема 6.** Боротьба з активними завадами роботі РЛС.

Лекція 11. Види завад. Методи боротьби. Принципи побудови систем боротьби с завадами. Цифрові системи боротьби з активними завадами роботі РЛС.

Лекція 12. Адаптація діаграми спрямованості ФАР. Цифровий автокомпенсатор активних завад.

Література: [1,5,7]

*Завдання для СРС.* Підходи до придушення активних завад для РЛС.

**Тема 7.** Цифрові системи боротьби з пасивними перешкодами.

Лекція 13. Види пасивних завад. Фільтр відбілювання. Різновиди системи СРЦ

Лекція 14. Цифрові системи селекції рухомих цілей та боротьби з пасивними перешкодами. «Вибілення» сигналу, АЧХ вибілюючого фільтру.

Література: [2,4,7]

*Завдання для СРС.* Розділення сигналів за частотою. Методи спектрального аналізу.

**Тема 8..** Підвищення імовірності виявлення цілей.

Лекція 15. Цифровий накопичувач відбитих від цілі сигналів.

Лекція 16. Цифрові системи виявлення сигналів на фоні білого шуму.

Література: [1,5,9]

Завдання для СРС. Різновиди систем виявлення корисного сигналу серед шумів.

**Тема 9.** Підходи та шляхи розвитку радіолокаційних систем.

Лекція 17. РЛС виявлення БПЛА. Підходи до побудови РЛС надвисоких частот.

Лекція 18. РЛС на основі технології МІМО.

Література: [3,1,4]

Завдання для СРС. Новітні технології і підходи у побудові РЛС.

### Лабораторні заняття

**Лабораторна робота 1.** «Адаптація цифрової фазованої антенної решітки РЛС до роботи в складних умовах»

**Лабораторна робота 2.** «Цифровий оптимальний фільтр для оброблення радіолокаційного сигналу»

**Лабораторна робота 3.** «Дослідження роздільної здатності по дальності імпульсного ЛЧМ радіолокаційного сигналу»

**Лабораторна робота 4.** «Застосування віконних функцій для підвищення роздільної здатності по дальності складних радіолокаційних сигналів»

**Лабораторна робота 5.** «Дослідження впливу цифрового накопичувача радіолокаційних сигнал на характеристики роботи РЛС»

**Лабораторна робота 6.** «Автоматичне регулювання підсилення у приймальному пристрої РЛС».

**Лабораторна робота 7.** «Визначення швидкостей руху радіолокаційних цілей в РЛС з цифровим обробленням сигналів»

**Лабораторна робота 8.** «Формування матриці «відстань-швидкість» для інтеграції радіолокаційної інформації»

**Лабораторна робота 9.** «Система цифрового оброблення сигналів в автомобільному радарі з частотно-модульованим сигналом неперервного випромінювання»

### 6. Самостійна робота студента

№	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Загальна характеристика цифрових РЛС. Класифікація.	4
2	Основні показники роботи цифрових пристроїв. Швидкодія, рівні квантування, як системні втрати в обробці сигналів .	4
3	Характеристики складних сигналів. Підходи до побудови кореляційної функції складних сигналів РЛС.	4

4	Цифрові оптимальні фільтри (АЧХ, ФЧХ), Розділення складних сигналів.	4
5	Алгоритм роботи ФАР та ЦАР. Відмінності та переваги.	4
6	Підходи до придушення активних завад для РЛС.	4
7	Розділення сигналів за частотою. Методи спектрального аналізу.	4
8	Різновиди систем виявлення корисного сигналу серед шумів.	4
9	Новітні технології і підходи у побудові РЛС.	4
10	Підготовка звіту з лабораторної роботи	18
11	Підготовка до модульної контрольної роботи	4
12	Виконання ДКР	2
13	Підготовка до заліку	6
	Всього	66

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

**Рекомендовані методи навчання:** вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, виконання лабораторних робіт. Студенту рекомендується вести докладний конспект лекцій. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, відпрацювання методів та алгоритмів вирішення основних завдань дисципліни є самостійна робота. Вона містить читання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять, контрольних заходів, заліку. Метою лабораторних робіт є: поглиблення і закріплення теоретичних знань, набуття навиків моделювання з використанням обчислювальної техніки, набуття навиків оцінки достовірності отриманих результатів та оформлення документів. Програмне забезпечення реалізоване в обчислювальному середовищі для наукових і інженерних розрахунків Matlab, Mathcad.

**Правила відвідування занять.** Студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрових контрольних заходів. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентами лабораторних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

На лекції заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу, усі питання, уточнення та ін. задають в кінці лекції у відведений для цього час.

**Призначення заохочувальних та штрафних балів.** Заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях та лабораторних заняттях, участь у конкурсах робіт, підготовку та публікацію наукових статей і тезисів доповідей на наукових конференціях, участь в науково-дослідній роботі на тему, що відповідає темам дисципліни. **Кількість заохочуваних балів не більше 10;**

Штрафні бали можуть виставлятися за: невиконання або невчасне виконання завдань. **Кількість штрафних балів не більше 10.**

**Академічна доброчесність** Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Норми етичної поведінки** Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Навчання іноземною мовою** Навчальна дисципліна передбачає її вивчення на українській мові. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела англійською мовою.



Студенти мають можливість отримати знання з окремих тем та розділів навчальної дисципліни на навчальних курсах платформи Coursera (<https://www.coursera.org>), Prometheus (<https://prometheus.org.ua>) та ін., у якості **змішаного чи додаткового навчання** згідно Положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті (<https://osvita.kpi.ua/node/179>).

## **8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

### **Види контролю**

**Поточний контроль:** здійснюється шляхом опитування на лабораторних заняттях та при виконанні МКР.

**Календарний контроль:** провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

**Семестровий контроль:** залік.

**8.1. Календарна контроль** студентів проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю, студент вважається атестованим.

### **8.2 Рейтингова система оцінювання результатів навчання.**

#### **Система рейтингових балів та критерії оцінювання**

1. В семестрі виконуються 9 лабораторних робіт. Сума балів за виконання та захист звіту з лабораторної роботи- **8 балів**.

Виконання та захист лабораторних робіт - **9x8=72 бали**.

3. Модульний контроль МКР - **8 балів**.

4. Домашня контрольна робота (ДКР) - **20 балів**

#### **Модульний контроль (МКР)**

В результаті оцінка за МКР:

- повна відповідь - **8 балів**

- повна відповідь з неістотними помилками - 7 балів

- повна відповідь з істотними помилками - 6 балів

- неповна відповідь - 5 балів,

- зміст відповідь не відноситься до суті питання, або відсутня відповідь на питання

МКР - 0 балів,

### **Звіт з виконання лабораторної роботи.**

Студент не допускається до захисту, якщо звіт не оформлений відповідно до вимог.

В результаті захисту звіту:

- повна відповідь - **8 балів**
- повна відповідь з неістотними помилками - 7 балів
- повна відповідь з істотними помилками - 6 балів
- неповна відповідь - 5 балів
- зміст відповідь не відноситься до суті лабораторної роботи, або результати дослідження, під час виконання лабораторної роботи, не отримані - 0 балів.

### **Домашня контрольна робота**

В результаті оцінка за ДКР:

- повна відповідь - 20 балів
- повна відповідь з неістотними помилками - 16 балів
- повна відповідь з істотними помилками - 12 балів
- неповна відповідь - 10 балів
- зміст відповідь не відноситься до суті питання, або відсутня відповідь на питання МКР - 0 балів,

Сума максимально можливих балів контрольних заходів протягом семестру (**R<sub>c</sub>**) складає:

$$R_c = 72 + 8 + 20 = 100 \text{ балів}$$

1. Студенти, які набрали більше 60 балів, за згодою студента, не складають залік і можуть отримати оцінки «Відмінно», «Дуже добре» і «Добре». «Задовільно»
2. Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач на останньому занятті проводить залікову контрольну роботу.
3. Студентам, які не виконали умови допуску (заборгованостей з лабораторних робіт, з семестрового індивідуального завдання або кількість балів менше 45) до складання заліку не допускаються.
4. В період після сесії в терміни, які визначені деканатом, студентам надається можливість підвищити рейтинг та скласти залік.

### **Відповідь на заліку (R<sub>e</sub>) максимально 100 балів.**

З метою посилення зацікавленості здобувачів у якісному виконанні індивідуальних

семестрових завдань, передбачених індивідуальним навчальним планом здобувача, рейтингову оцінку, у разі виконання залікової контрольної роботи, можна визначати як суму балів за залікову контрольну роботу та балів за індивідуальне семестрове завдання. У цьому випадку розмір шкали оцінювання залікової контрольної роботи зменшується на максимальне значення балів, передбачених за виконання відповідного індивідуального семестрового завдання.

На заліку студенти дають відповіді на питання залікового завдання (білета).

Система оцінювання відповіді на питання:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 95 - **100 балів**;
- «дуже добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 94-**85 балів**;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 84-**75 балів**;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 65% потрібної інформації та деякі помилки) – **74-65 балів**;
- "достатньо " ( менше 60 % потрібної інформації, помилки) - 64 - 60 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – **0-60 балів, залік вважається не зданий.**

Рейтингова оцінка з дисципліни  $R_b$  формується на основі варіанту: «жорстка» PCO – попередній рейтинг здобувача (за винятком балів за семестрове індивідуальне завдання) скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи. (п.3.14 ПОЛОЖЕННЯ про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Бали ( $R_b$ ) переводиться до оцінки згідно з таблицею:

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою**

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;
- попередня рейтингова оцінка  $R_b = R_c$  з дисципліни доводиться до студентів на предостанньому занятті;

Дистанційний курс навчальної дисципліни - [Курс: РАДІОЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ З ЦИФРОВИМ ОБРОБЛЕННЯМ СИГНАЛІВ \(kpi.ua\)](#)

**Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни**

Лабораторія радіолокаційних систем кафедри Радіотехнічних комп'юеризованих систем, ауд

204, навчальний корпус №17

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Чмельов В. О.](#);

**Ухвалено** кафедрою РТС (протокол № 06/23 від 22.06. 2023 р. )

**Погоджено** методичною комісією факультету/ІНІ (протокол № 06-2023 від 29.06.2023 )