



# МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ – 2. ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>17 Електроніка та телекомунікації</i>
Спеціальність	<i>173 Авіоніка</i>
Освітня програма	<i>Системи керування літальними апаратами та комплексами</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів (150 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: кандидат технічних наук, доцент, Бобков Юрій Володимирович, контактні дані: тел. +044-2048634, e-mail: izvt@ukr.net Лабораторні: кандидат технічних наук, доцент, Бобков Юрій Володимирович, контактні дані: тел. +044-2048634, e-mail: izvt@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>Платформа «Сікорський», Moodle: <a href="https://do.ip.o.kpi.ua/course/view.php?id=4393">https://do.ip.o.kpi.ua/course/view.php?id=4393</a> <a href="https://do.ip.o.kpi.ua/course/view.php?id=4391">https://do.ip.o.kpi.ua/course/view.php?id=4391</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Математичне забезпечення цифрових систем - 2. Цифрова фільтрація» (МЗЦС–2. ЦФ) належить до нормативних навчальних дисциплін циклу загальної підготовки за спеціальністю 173 «Авіоніка» освітньо-професійною програмою «Системи керування літальними апаратами та комплексами».

На сучасному етапі розвитку систем авіоніки покращення їх характеристики та підвищення ефективності відбувається за рахунок новітніх досягнень в області цифрової обробки сигналів. Одним з суттєвих елементів будь якої системи керування є цифрова фільтрація. Тому вивчення дисципліни «Математичне забезпечення цифрових систем - 2. Цифрова фільтрація» є необхідним та обов'язковими для здобувачів спеціальності 173 «Авіоніка».

Дисципліна формує у здобувачів вищої освіти теоретичні знання та практичний досвід у галузі цифрової фільтрації.

## **1 Мета та завдання навчальної дисципліни**

### 1.1 Мета навчальної дисципліни.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей.

#### **ЗДАТНІСТЬ:**

ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 2 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації.

ЗК 10 Здатність до математичного опису і моделювання фізичних процесів в системах керування літальних апаратів.

ФК 5 Здатність розробляти авіоніку літальних апаратів та системи наземних комплексів із використанням інформаційних технологій.

### 1.2 Основні завдання навчальної дисципліни.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

РН 21 Знати теорію автоматичного керування, аналогові та цифрові моделі динамічних систем, методи синтезу і аналізу систем автоматичного керування.

РН 23 Вміти використовувати методи математичного опису і моделювання фізичних процесів в системах керування літальних апаратів.

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

Дисципліни бакалаврської підготовки, що забезпечують початкову підготовку до навчання: ЗО 10 «Вища математика», ЗО 18 «Електроніка і основи схемотехніки». В свою чергу він забезпечує наступні дисципліни: ПО 2 «Мікроконтролерні обчислювачі повітряних і космічних апаратів» та ПО 11 дипломне проектування.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

1. Основні поняття теорії цифрової обробки інформації (ЦОІ). Сигнали та їх перетворення при цифровій обробці.

1.1. Основні поняття теорії ЦОІ. Класифікація методів ЦОІ.

1.2 Основні види сигналів та їх математичні моделі.

1.3 Квантування та дискретизація сигналів. Відтворення безперервних сигналів з дискретизованих. Теорема Котельникова.

2. Математичні основи теорії цифрової обробки інформації.

2.1 Розкладання періодичних сигналів в ряд Фур'є. Інтегральне перетворення Фур'є.

2.2 Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ).

- 2.3 Швидке перетворення Фур'є (ШПФ).
- 2.4. Перетворення Лапласа.
- 2.5 Z-перетворення.
- 3. Лінійні дискретні системи.
  - 3.1 Опис лінійних дискретних систем у часовій області.
  - 3.2 Опис лінійних дискретних систем у z- області.
  - 3.2 Опис лінійних дискретних систем у частотній області.
- 4. Методи цифрової фільтрації.
  - 4.1 Основні поняття та класифікація цифрових фільтрів.
  - 4.2 Фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою.
  - 4.3 Фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою.
  - 4.4 Адаптивні фільтри.

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

##### **Рекомендована література:**

###### **Базова**

- 1 Бабак В.П., Хандецький В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів. / Підручник для студентів технічних спеціальностей вузів. — К.: «Либідь», 1999 - 496
- 2 Тотосько О.В., Стухляк П.Д. ЦИФРОВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ ТА ЗОБРАЖЕНЬ / НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК. – Тернопіль: ТНТУ, 2016 – 132с.
- 3 Солонина А.И., Улахович Д.А. и др. Основы цифровой обработки сигналов / Курс лекций. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005 – 768с.
- 4 Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB / Учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 560с.
- 5 Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. – М: ООО "Бином-пресс", 2006 – 652с.

###### **Допоміжна**

- 1 Матвеев Ю.Н., Симончик К.К., Тропченко А.Ю., Хитров М.В. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ / Учебное пособие по дисциплине "Цифровая обработка сигналов". – СПб: СПбНИУ ИТМО, 2013. – 166 с.
- 2 Глинченко, А. С. Цифровая обработка сигналов. / Курс лекций. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 242с.
- 3 Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.:Вища школа. Головное изд-во, 1985.–455с.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	2
1	Програма і завдання кредитного модуля «Математичне забезпечення цифрових систем -2. Цифрова обробка інформації» (1 година). Визначення та узагальнена структура лінійної дискретної системи (1 година). [баз.:1,л.4; 2,гл.2; 3,гл.5; 4,л.2; 5, гл.1; д.:1,л.3] Завдання на СРС. Поняття лінійної дискретної системи.
2	Імпульсна характеристика лінійної дискретної системи (ЛДС). Формула згортки. [баз.:1,л.4; 2,гл.2; 3,гл.5; 4,л.2; 5, гл.1; д.:1,л.3] Завдання на СРС. Різницеве рівняння.
3	Рекурсивні та нерекурсивні системи. Властивості лінійних дискретних систем. [баз.:1,л.4; 2,гл.2; 3,гл.5; 4,л.2; 5, гл.1; д.:1,л.3] Завдання на СРС. Стійкість лінійних дискретних систем.
4	Опис лінійних дискретних систем у Z-області. Передавальна функція [баз.:1,л.5; 2,гл.4] Завдання на СРС. Зв'язок передавальної функції та різницевого рівняння.
5	Опис лінійних дискретних систем у Z-області. Різновиди представлення передавальної функції. [баз.:1,л.5; 2,гл.4] Завдання на СРС. Стійкість і збіжність ЛДС.
6	Опис лінійних дискретних систем у частотній області. Частотна характеристика. [баз.:1,л.6; 2,гл.5; 4,л.2; д.:1,л.5] Завдання на СРС. Властивості частотних характеристик.
7	Розрахунок амплітудно-частотних (АЧХ) і фазочастотних (ФЧХ) характеристик. [баз.:1,л.6; 2,гл.5; 4,л.2; д.:1,л.5] Завдання на СРС. Нулі та екстремуми АЧХ.
8	Експрес аналіз АЧХ. [баз.:1,л.6; 2,гл.5; 4,л.2; д.:1,л.5] Завдання на СРС. Груповий час затримки ЛДС.
9	Модульна контрольна робота по матеріалах розділу 3. [баз.:1,л.4,5,6; 2,гл.2,4,5; 3,гл.5; 4,л.2; 5, гл.1; д.:1,л.3,5] Завдання на СРС. Повторення матеріалу розділу 3.
10	Основні поняття та класифікація цифрових фільтрів. [баз.:1,л.17; 2,гл.14; 4,л.3; д.:1,л.4; 2,т.1] Завдання на СРС. Частотно-вибіркові цифрові фільтри.
11	Основні властивості та структури КІХ-фільтрів. Згортка у КІХ-фільтрах. [баз.:1,л.18; 2,гл.15; 4,л.3; 5, гл.5; д.:1,л.6; 2,т.1] Завдання на СРС. Алгоритм роботи КІХ-фільтру.

1	2
12	Проектування КІХ-фільтрів низьких частот методом вікон. [баз.:1,л.19; 2,гл.16; 4,л.5; 5, гл.5; д.:1,л.6] Завдання на СРС. Явище Гіббса.
13	Вікна у проектуванні КІХ-фільтрів. [баз.:1,л.19; 2,гл.16; 4,л.5; 5, гл.5; д.:1,л.6] Завдання на СРС. Вікно Чебишева.
14	Проектування КІХ-фільтрів смугових та високих частот методом вікон. Метод Ремеза. [баз.:1,л.19; 2,гл.16; 4,л.5; 5, гл.5; д.:1,л.6] Завдання на СРС. Способи програмної реалізації метода Ремеза.
15	Основні властивості та структура НІХ-фільтрів. Застосування Z-перетворення для аналізу НІХ-фільтрів. [баз.:1,л.23; 2,гл.19; 4,л.4; 5,гл.6; д.: 2,т.1] Завдання на СРС. Узагальнена структура (Пряма форма I) НІХ-фільтра.
16	Проектування НІХ-фільтрів методом інваріантного перетворення імпульсної характеристики. [баз.:1,л.23; 2,гл.19; 4,л.4; 5,гл.6; д.:2,т.1] Завдання на СРС. Проектування за аналоговим прототипом.
17	Проектування НІХ-фільтрів методом білінійного перетворення. [баз.:1,л.24; 2,гл.19; 4,л.4; 5, гл.6; д.:2,т.1] Завдання на СРС. Нелінійні спотворення частоти при білінійному перетворенні.
18	Адаптивні фільтри. [баз.:1,л.27; 2,гл.22; 3,гл.5; д.:2,т.1] Завдання на СРС. Узагальнена структура адаптивного фільтру.

## 6. Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять - закріплення знань, отриманих при вивченні теоретичного курсу, та отримання практичних умінь та досвіду по проведенню експериментальних досліджень лінійних дискретних систем та цифрових фільтрів за допомогою спеціалізованих прикладних програмних пакетів.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд.годин
1	2	3
1	Дослідження дискретного перетворення Фур'є сигналів в системах «MatLab» і «Simulink».	6
2	Дослідження структур лінійних дискретних систем в системах «MatLab» і «Simulink».	4
3	Дослідження методів синтезу КІХ-фільтрів за допомогою системи "MatLab".	4
4	Дослідження методів синтезу НІХ-фільтрів за допомогою системи "MatLab".	4

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (СРС) полягає в підготовці до аудиторних лекційних занять та МКР згідно завдань на СРС до лекційних занять, та підготовці до лабораторних робіт згідно методичних рекомендацій до лабораторних робіт.

### Політика та контроль

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекцій і лабораторних занять є обов'язковим і здійснюється за затвердженим розкладом.

На аудиторних заняттях мобільні телефони мають бути відключені.

Лабораторні роботи проводяться у комп'ютерному класі з обов'язковим допуском до кожного заняття відповідно доведених викладачем завдань, що викладені у методичних матеріалах (дистанційному курсі) для підготовки до занять. Захист лабораторних робіт і звітів проходить з обов'язковою демонстрацією результатів досліджень під час заключного заняття з лабораторної роботи. Допускається можливість захисту чергової лабораторної роботи у під час наступної за наявності відповідного часу у викладача. Пропущені лабораторні роботи відпрацьовуються самостійно та захищаються за окремим графіком, у тому числі в кінці семестру.

Політика академічної поведінки та доброчесності (плагіат, поведінка в аудиторії): конфліктні ситуації мають відкрито обговорюватись в академічних групах з викладачем. Плагіат та інші форми академічної не доброчесності неприпустимі. Обов'язковими є норми академічної етики: дисциплінованість; дотримання субординації; чесність; відповідальність.

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

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- 1) допуск, виконання та захист 4 лабораторних робіт та звітів;
- 2) модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) відповідь на екзамені.

### Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

#### 1. Лабораторні роботи

Ваговий бал - 5. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи 40 балів:

1) допуск до лабораторних робіт і занять  $5 \cdot 4 = 20$  балів.

Ваговий коефіцієнт оцінки допуску до лабораторних робіт 0,8;

2) захист лабораторних робіт  $5 \cdot 4 = 20$  балів.

Ваговий коефіцієнт оцінки захисту лабораторних робіт 0,8;

3) захист звітів лабораторних робіт  $5 \cdot 4 = 20$  балів.

Ваговий коефіцієнт оцінки захисту лабораторних робіт 0,4.

Всього балів:

$$5*4*0,8+5*4*0,8+5*4*0,4=40.$$

Критерії оцінювання допуску до лабораторних робіт:

5 балів - протокол лабораторної роботи, включаючи розділ "Підготовка до роботи", підготовлений у повному обсязі; правильні та повні відповіді на запитання;

4 бали - протокол лабораторної роботи, включаючи розділ "Підготовка до роботи", підготовлений у повному обсязі; в цілому правильні відповіді на запитання, але при наявності 1-2 недоліків;

3 бали - протокол лабораторної роботи, включаючи розділ "Підготовка до роботи", підготовлений в необхідному обсязі; неповні відповіді на запитання, з помилками;

2 бали - протокол лабораторної роботи, включаючи розділ "Підготовка до роботи", підготовлений в неповному обсязі; відповіді на запитання з суттєвими помилками;

1 бал - протокол лабораторної роботи підготовлений в неповному обсязі без розділу "Підготовка до роботи"; у відповіді на запитання відсутні логічні кроки, наведені деякі формулювання або їх фрагменти. Для допуску може бути запропоновано виконання розділу "Підготовка до роботи", додаткове вивчення матеріалу в обсязі, необхідному для виконання лабораторної роботи;

0 балів - не підготовлений до лабораторної роботи - не допуск.

Критерії оцінювання захисту лабораторних робіт:

5 балів - правильні повні виконання досліджень та відповіді на запитання; правильні чисельні результати обробки даних з необхідними поясненнями;

4 бали - правильні повні виконання досліджень та відповіді на запитання, правильні чисельні результати обробки даних з необхідними поясненнями, але при наявності 1-2 недоліків;

3 бали - правильні виконання досліджень; неповна відповідь на запитання; чисельні результати обробки даних без необхідних пояснень, з помилками.

У випадку невідповідності вказаним критеріям оцінювання захисту лабораторних робіт, студент виконує необхідне доопрацювання та захищає роботу повторно. При кожному послідовному захисті оцінка знижується на один бал, але не менше ніж до 0 балів.

Критерії оцінювання захисту звітів лабораторних робіт:

5 балів - звіт включає всі матеріали відповідно до розділу "Зміст звіту лабораторної роботи", правильні повні результати обробки даних з необхідними поясненнями та оформленням відповідно стандартів, самостійні висновки з результатами аналізу та чисельними даними;

4 бали - звіт включає всі матеріали відповідно до розділу "Зміст звіту лабораторної роботи", правильні результати обробки даних з необхідними поясненнями та оформленням відповідно стандартів, самостійні висновки, але при наявності 1-2 недоліків;

3 бали - звіт включає всі матеріали відповідно до розділу "Зміст звіту лабораторної роботи", результати обробки даних без необхідних пояснень та з несуттєвими помилками, незадовільне оформлення; висновки носять формальний характер та не відображають результати роботи;

У випадку невідповідності вказаним критеріям оцінювання захисту звітів лабораторних робіт, студент виконує необхідне доопрацювання та захищає звіт повторно. При кожному послідуєчому захисті оцінка знижується на один бал, але не менше ніж до 0 балів.

## 2. Модульний контроль

Ваговий бал - 15.

Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює 15 балів.

Ваговий коефіцієнт оцінки контрольної роботи складає 1.

Відповідно всього балів:

$$15 * 1 = 15.$$

МКР може виконуватись:

- 1) шляхом виконання практичного завдання в системі "MatLab";
- 2) традиційним способом у вигляді письмової контрольної роботи.

Оцінка за МКР в останньому випадках виставляється відповідно до критеріїв:

- “відмінно”, повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15–14 балів;
- “добре”, достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 13-11 балів;
- “задовільно”, неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 10-9 бали;
- “незадовільно”, незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на 3 бали), або відсутня відповідь, або наведена відповідь на інше запитання – 0 балів.

## 3. Штрафні та заохочувальні бали

Штрафні бали застосовуються при захисті лабораторних робіт і звітів відповідно до п.1.

У випадку відсутності на лабораторному та практичному занятті або МКР без поважних причин та виконанні (відпрацьовуванні) в додатковий час чи на іншому занятті отримана відповідна оцінка студента знижується на 1 бал, але не менше, ніж до 0 балів (без урахування вагового коефіцієнта). За несвоєчасну здачу лабораторних робіт, звітів з лабораторних робіт відповідна оцінка знижується на 1 бал за кожний тиждень затримки, але не менше, ніж до 0 балів (без урахування вагового коефіцієнта).

Заохочувальні бали виставляються за підготовку (оформлення) методичних матеріалів (кількість балів виставляється відповідно складності роботи і не перевищує 5 балів).

**Розмір шкали рейтингу R=100 балів.**

**Розмір стартової шкали Rc=55 балів.**

**Розмір екзаменаційної шкали Re=45 балів.**

Умови позитивної проміжної атестації: Для отримання "зараховано" з 1-ї атестації (8 тиждень) студент матиме не менше 12 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів максимальний рейтинг становить 20 балів).

Для отримання "зараховано" з 2-ї атестації (14 тиждень) студент матиме не менше 25 балів (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів максимальний рейтинг становить 50 балів).



Умови допуску до екзамену: зарахування всіх контрольних та лабораторних робіт, а також стартовий рейтинг  $R_c \geq 27,5$  балів (50 % від  $R_c$ ).

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання і одне практичне, кожне з яких оцінюється із 15 балів.

Критерії екзаменаційного оцінювання:

1) система оцінювання теоретичних запитань:

- “відмінно”, повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15-14 балів;
- “добре”, достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13-11 балів;
- “задовільно”, неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10-9 балів;
- “незадовільно”, незадовільна відповідь, або відсутня відповідь, або наведена відповідь на інше запитання – 0 балів.

2) система оцінювання практичного запитання:

- «відмінно», повне, безпомилкове розв’язування завдання – 15-14 балів;
- «добре», повне розв’язування завдання із несуттєвими неточностями – 13-11 балів;
- «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 10-9 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано (або виконано невірно, або виконано інше завдання) – 0 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею.

**Таблиця переведення рейтингової оцінки з навчальної дисципліни R:**

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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)**

При вивченні дисципліни застосовується традиційна методика викладання у поєднанні з новітніми інформаційними технологіями.

Теоретичний матеріал викладається у вигляді аудиторних лекцій із застосуванням (при наявності) технічних засобів для відображення ілюстративного матеріалу.

Лабораторні роботи виконуються у комп'ютерному класі з обов'язковим допуском до роботи, на яке надається відповідно підготовлена програмна частина, захистом результатів виконання та підготовленого звіту.

МКР може виконуватись:

- 1) шляхом тестування, в тому числі комп'ютерного в середовищі Moodle, для чого застосовується тестова система дистанційного курсу;
- 2) традиційним способом.

При вивченні дисципліни необхідно дотримуватися логічної послідовності викладення навчального матеріалу згідно тематичного плану. Проте необхідно враховувати, що виконання МКР і лабораторних робіт потребує попереднього ознайомлення з матеріалами, винесеними на СРС до відповідної теми за базовою та додатковою літературою, та матеріалами відповідних методичних вказівок.

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом каф. СКЛА ІАТ, к.т.н., доцентом, Бобковим Юрієм Володимировичем

**Ухвалено** кафедрою СКЛА (Протокол № 16 від 12 травня 2021 р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ )