

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 1

## ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою факультету  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій, мехатроніки і  
робототехніки

31 серпня 2023 р., протокол № 7

Голова Вченої ради

Олексій ГРОМОВИЙ



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЦИФРОВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ У ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»  
освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні  
системи»

факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Схвалено на засіданні кафедри  
метрології та інформаційно-  
вимірювальної техніки

28 серпня 2023 р., протокол № 9

Завідувач кафедри

*Юрій Подчашинський*  
Юрій ПОДЧАШИНСЬКИЙ  
Гарант ОПП

*Юрій Подчашинський*  
Юрій ПОДЧАШИНСЬКИЙ

Розробники: к.т.н., доц. кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної

техніки ЧЕПЮК Ларіна, асистент кафедри метрології та інформаційно-

вимірювальної техніки ВОРОНОВА Тетяна

Житомир  
2023 – 2024 н.р.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 2

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів 4	Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»	Нормативна	
Модулів – 1	Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		3-й	3-й
Загальна кількість годин – 120		Семестр	
		5-й	5-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5 год. самостійної роботи студента – 2,5	Освітній ступінь «бакалавр»	Лекції	
		32 год.	4 год.
		Практичні	
		–	–
		Лабораторні	
		48 год.	8 год.
		Самостійна робота	
40 год.	108 год.		
		Вид контролю: екзамен.	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 67 % аудиторних занять, 33 % самостійної та індивідуальної роботи;

для заочної форми навчання - 10 % аудиторних занять, 90 % самостійної та індивідуальної роботи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 3

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою дисципліни «Цифрова обробка сигналів у інформаційно-вимірювальній техніці» є**

- ознайомлення студентів з можливостями цифрової обробки сигналів та галузями її застосування;
- вивчення ними теоретичних основ цифрової обробки, головним чином цифрової фільтрації;
- вивчення математичного апарату, який дозволяє побудувати адекватні математичні моделі сигналів та процедур їх обробки шляхом використання сучасних пакетів цифрової обробки сигналів.

**Завданнями вивчення дисципліни є:**

- освоїти принципи роботи і властивості сучасних цифрових систем обробки сигналів;
- освоїти методи розрахунку характеристик цифрових ланок 1 і 2 порядків;
- освоїти методи спектрального аналізу на основі перетворень ДПФ і БПФ.

Зміст навчальної дисципліни направлений на формування наступних **компетентностей**, визначених стандартом вищої освіти зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»:

K04. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

K14. Здатність проектувати засоби інформаційно-вимірювальної техніки та описувати принцип їх роботи.

K15. Здатність, виходячи з вимірювальної задачі, пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки.

K23. Здатність розробляти алгоритми функціонування та програмне забезпечення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.

K24. Здатність управляти інформаційними процесами у комп'ютеризованих вимірювальних системах.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних **програмних результатів** навчання за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»:

ПРО6. Вміти використовувати інформаційні технології при розробці програмного забезпечення для опрацювання вимірювальної інформації.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 4

ПР07. Вміти пояснити та описати принципи побудови обчислювальних підсистем і модулів, що використовуються при вирішенні вимірювальних задач.

ПР13. Знати та вміти застосовувати сучасні інформаційні технології для вирішення задач в сфері метрології та інформаційно-вимірювальної техніки.

ПР19. Вміти застосовувати мікропроцесори, мікроконтролери та відповідні програмні засоби у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

ПР20. Знати теорію та методи цифрової обробки сигналів, вміти їх застосовувати для аналізу, фільтрації та перетворення вимірювальної інформації.

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### Змістовий модуль 1.

#### Математичний опис цифрових сигналів та обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки

**Тема 1.** Предмет та задачі дисципліни “Цифрова обробка сигналів у інформаційно-вимірювальній техніці”. Зв’язок матеріалу даної дисципліни із змістом інших дисциплін спеціальності. Можливості, які забезпечує цифрова обробка сигналів в інформаційно-обчислювальних системах. Принципи розробки та реалізації обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки. Структурна схема системи цифрової обробки аналогових сигналів. Призначення та особливості реалізації основних вузлів системи. Позитивні якості та недоліки пристроїв та систем цифрової обробки сигналів. Математичний апарат опису сигналів та лінійних систем.

**Тема 2.** Аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення сигналів вимірювальної інформації. Дискретизація сигналів. Квантування відліків сигналу; похибка квантування. Динамічний діапазон аналого-цифрового перетворювання. Вимоги до аналого-цифрових перетворювачів. Спектр дискретизованого сигналу. Відновлення сигналу за його відліками; похибка відновлення.

**Тема 3.** Цифрові фільтри та лінійні дискретні системи. Опис лінійних дискретних систем в часовій області. Означення цифрового фільтра. Імпульсна характеристика цифрового фільтра. Формування вихідного сигналу цифрового фільтра: згортка послідовностей (дискретна згортка). Фільтри із скінченою та нескінченою імпульсною характеристикою. Реалізація на мікропроцесорах та

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 5

мікроконтролерах у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

**Тема 4.** Опис лінійних дискретних систем в  $z$ -області. Застосування  $Z$ -перетворення для опису дискретизованих сигналів та послідовностей. Зворотне  $Z$ -перетворення, правила його отримання. Основні властивості  $Z$ -перетворення. Застосування теорії лишків у зворотному  $Z$ -перетворенні. Застосування  $Z$ -перетворення для обчислення згортки.

**Тема 5.** Системна функція цифрового фільтра. Означення системної функції. Зв'язок системної функції із різницеvim рівнянням. Стійкість цифрового фільтра. Практичне застосування цифрових фільтрів.

**Тема 6.** Опис лінійних дискретних систем у частотній області. Частотна характеристика цифрового фільтра; її особливості. Отримання частотної характеристики із системної функції. Зв'язок амплітудно-частотної та фазо-частотної характеристик з розташуванням нулів та полюсів системної функції. Цифрові фільтри із лінійною фазочастотною характеристикою.

**Тема 7.** Структурні схеми цифрових фільтрів. Пряма форма 1 (основна), пряма форма 2 (канонічна) реалізації цифрових фільтрів. Структури з багатомірним виходом та багатомірним входом. Послідовна та паралельна структури.

**Тема 8.** Опис дискретних сигналів. Властивості спектрів дискретних сигналів. Зв'язок між спектрами аналогового і дискретного сигналів.

## Змістовий модуль 2.

### Аналіз та синтез цифрових фільтрів. Перетворення сигналів вимірювальної інформації

**Тема 9.** Аналіз нерекурсивного фільтра 1-го порядку. Аналіз рекурсивного фільтра 1-го порядку. Аналіз нерекурсивного фільтра 2-го порядку. Аналіз рекурсивного фільтра 2-го порядку. Синтез рекурсивного фільтра 2-го порядку.

**Тема 10.** Означення дискретного перетворення Фур'є (ДПФ); його властивості. Матричне представлення ДПФ.

**Тема 11.** Означення швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Різновиди алгоритмів ШПФ. Алгоритм ШПФ із проріджуванням в часі. Алгоритм ШПФ із проріджуванням по частоті. Застосування ШПФ у спектральному аналізі. Поліпшення характеристик спектрального аналізу завдяки використанню

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 6

часових “вікон”. Інтерполяція функцій (сигналів) за допомогою ШПФ. Обчислення дискретних згорток на основі ШПФ.

**Тема 12.** Квантування в цифрових системах. Ефекти квантування у цифрових системах. Похибки цифрових фільтрів.

**Тема 13.** Основи синтезу нерекурсивних цифрових фільтрів. Вимоги до цифрового фільтра з лінійною фазо - частотною характеристикою. Синтез КІХ - фільтрів методом вікон.

**Тема 14.** Основи синтезу нерекурсивних цифрових фільтрів. Синтез КІХ - фільтрів методом найкращої рівномірної (чебишевської) апроксимації.

**Тема 15.** Основи синтезу рекурсивних цифрових фільтрів. Метод білінійного Z-перетворення: апроксимація частотної характеристики; отримання передаточної функції фільтра-прототипа; перехід до системної функції цифрового фільтра. Програмне забезпечення для опрацювання вимірювальної інформації.

**Тема 16.** Вейвлет - перетворення. Вейвлети та їхні властивості. Безперервне вейвлет - перетворення. Дискретизація обчислень при вейвлет – перетворенні. Основи кратномасштабного аналізу. Дискретне вейвлет – перетворення. Швидке вейвлет – перетворення.

#### 4. Структура (тематичний план) навчальної дисципліни

Змістові модулі і теми	Кількість годин							
	денна форма				заочна форма			
	усього	лекції	лабораторні	самостійна робота	усього	лекції	лабораторні	самостійна робота
<b>Модуль 1</b>								
<b>Змістовий модуль 1. Математичний опис цифрових сигналів та обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки</b>								
Тема 1. Предмет та задачі дисципліни ЦОС у ІВТ. Принципи розробки та реалізації обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки. Структурна схема системи ЦОС.	6	2	4	–	6	2	–	4
Тема 2. АЦП та ЦАП сигналів вимірювальної інформації. Дискретизація і квантування відліків сигналу.	2	2	–	–	2	–	–	2

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 7

Тема 3. Цифрові фільтри (ЦФ) та лінійні дискретні системи (ЛДС). Означення ЦФ. Імпульсна характеристика ЦФ. Дискретна згортка. Реалізація на мікропроцесорах та мікроконтролерах у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.	10	2	4	4	10	–	4	6
Тема 4. Опис ЛДС у z-області. Пряме і зворотнє z -перетворення.	10	2	4	4	10	–	–	10
Тема 5. Системна функція ЦФ. Стійкість ЦФ.	10	2	4	4	10	–	–	10
Тема 6. Опис ЛДС у частотній області. Частотна характеристика ЦФ; її особливості.	2	2	–	–	2	–	–	2
Тема 7. Структурні схеми ЦФ.	6	2	–	4	6	–	–	6
Тема 8. Опис дискретних сигналів. Властивості спектрів дискретних сигналів.	6	2	4	–	6	–	–	6
<b>Разом за змістовий модуль 1</b>	<b>52</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>52</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>46</b>
<b>Змістовий модуль 2. Аналіз та синтез цифрових фільтрів. Перетворення сигналів вимірювальної інформації</b>								
Тема 9. Аналіз нерекурсивних і рекурсивних ЦФ 1-го та 2-го порядків.	10	2	4	4	10	2	–	8
Тема 10. Дискретне перетворення Фур'є; його властивості.	10	2	8	–	10	–	–	10
Тема 11. Швидке перетворення Фур'є.	6	2	–	4	6	–	–	6
Тема 12. Квантування у цифрових системах.	6	2	–	4	6	–	–	6
Тема 13. Синтез КІХ - фільтрів методом вікон.	10	2	4	4	10	–	4	6
Тема 14. Синтез КІХ - фільтрів методом найкращої рівномірної (чебишевської) апроксимації.	10	2	4	4	10	–	–	10
Тема 15. Синтез рекурсивних цифрових фільтрів методом білінійного Z-перетворення. Програмне забезпечення для опрацювання вимірювальної інформації	10	2	4	4	10	–	–	10
Тема 16. Вейвлет - перетворення.	6	2	4	–	6	–	–	6
<b>Разом за змістовий модуль 2</b>	<b>68</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>68</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>62</b>
<b>ВСЬОГО</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>48</b>	<b>40</b>	<b>120</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>108</b>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 8

## 5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Робота в середовищі Matlab. Структура Signal Processing Toolbox.	4	–
2	Генерація сигналів	4	–
3	Моделювання роботи ЛДС на основі рівняння згортки	4	–
4	Моделювання роботи ЛДС у часовій області	4	4
5	Дослідження цифрового фільтру	4	–
6	Синтез цифрових фільтрів в середовищі MATLAB	4	–
7	Дискретне перетворення Фур'є	8	–
8	Синтез КІХ - фільтрів методом вікон	4	4
9	Синтез КІХ - фільтрів методом найкращої рівномірної (чебишовської) апроксимації	4	–
10	Синтез БІХ - фільтрів методом білінійного Z-перетворення	4	–
11	Вейвлет-аналіз	4	–
РАЗОМ		48	8

## 6. Завдання для самостійної роботи

1. Спектр дискретизованого сигналу. Відновлення сигналу за його відліками; похибка відновлення.
2. Застосування теорії лишків у зворотному Z-перетворенні.
3. Застосування Z-перетворення для обчислення згортки.
4. Практичне застосування цифрових фільтрів.
5. Синтез рекурсивного фільтра 2-го порядку.
6. Алгоритм ШПФ із проріджуванням по частоті.
7. Різновиди фільтрів-прототипів (Баттерворта, Чебишева, Кауера).
8. Похибки цифрових фільтрів.
9. Процесори цифрової обробки сигналів

## 7. Індивідуальні завдання

Індивідуальні семестрові завдання виконуються у формі розрахункової роботи.

Типове завдання складається з двох задач.

1. Знайти згортку послідовностей  $x(n)$  і  $y(n)$  двома способами:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 9

- 1) прямим обчисленням;
- 2) з використанням z-перетворення.

2. Цифровий фільтр описується заданим різницевою рівнянням з заданим періодом дискретизації. Знайти аналітичні вирази для:

- 1) системної функції цифрового фільтра;
- 2) імпульсної характеристики;
- 3) частотної характеристики.

Зобразити розташування нулів і полюсів системної функції на Z-площині.

Побудувати графік АЧХ фільтра (по вісі частот частоту вказати в герцах).

Зобразити структурну схему фільтра.

З'ясувати, чи є стійким даний фільтр.

Побудувати початкову частину імпульсної характеристики фільтра, використовуючи отриманий аналітичний вираз (не менш 30 відліків),

Навести таблицю значень імпульсної характеристики.

## 8. Методи навчання

На лекційних заняттях: розповідь, пояснення, демонстрація, бесіда, дискусія.  
На лабораторних заняттях: пояснення, розв'язування ситуаційних задач, виконання індивідуального варіанту завдання. Самостійна робота студента: вивчення розділів основної і допоміжної літератури, реферати, повідомлення, науково-пошукові, дослідницькі проекти.

За джерелами знань використовуються такі методи навчання: словесні – розповідь, пояснення, лекція, інструктаж; наочні – демонстрація, ілюстрація; практичні – лабораторна робота, вправи. За характером логіки пізнання використовуються такі методи: аналітичний, синтетичний, аналітико-синтетичний, індуктивний, дедуктивний. За рівнем самостійної розумової діяльності використовуються методи: проблемний, частково-пошуковий, дослідницький.

Методи навчання:

МН1 – вербальні (лекція, пояснення, розповідь, бесіда, інструктаж);

МН2 – наочні (спостереження, ілюстрація, демонстрація);

МН3 – практичні (різні види вправ та завдань, виконання розрахунків, практики);

МН4 – пояснювально-ілюстративний (передбачає надання готової інформації викладачем та її засвоєння студентами);

МН5 – репродуктивний, в основу якого покладено виконання різного роду завдань за зразком;

МН6 – метод проблемного викладу;

МН7 – частково-пошуковий (евристичний);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 10

- МН9 – дискусійний метод;  
МН10 – метод активного навчання (проведення ділових ігор, ігрового проектування);  
МН11 – ситуаційний метод, рішення кейсових завдань.

## 9. Методи контролю

Контрольні заходи включають поточний та підсумковий модульний контроль в тому числі у вигляді модульних контрольних робіт.

Поточний контроль здійснюється під час проведення лабораторних занять для перевірки рівня підготовки студента до виконання конкретної роботи. Форма проведення поточного контролю: усне опитування, вирішення ситуаційних задач, тестовий контроль, виконання лабораторної роботи. Оцінюється вхідний, проміжний, кінцевий рівень знань студента.

Методи контролю:

- МО1 – оцінювання роботи під час аудиторних занять;  
МО2 – виконання лабораторних завдань;  
МО3 – поточне тестування;  
МО4 – виконання аудиторної контрольної роботи;  
МО5 – захист індивідуального завдання;  
МО6 – екзамен.

## 10. Розподіл балів

Поточне тестування та самостійна робота							
Змістовий модуль №1							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
5	5	5	5	10	5	5	10

Поточне тестування та самостійна робота								Сума
Змістовий модуль №2								
T9	100	T11	T12	T13	T14	T15	T16	
5	5	5	5	5	5	10	10	100

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 11

## Шкала оцінювання

За шкалою	Екзамен	Бали
A	Відмінно	90-100
B	Добре	82-89
C		74-81
D	Задовільно	64-73
E		60-63
FX	Незадовільно	35-59
F		0-34

## 11. Рекомендована література

### *Основна література*

1. Richard G. Lyons, D. Lee Fugal The Essential Guide to Digital Signal Processing Prentice Hall, 2014, p. 208.
2. D. Sundararajan: Digital Signal Processing: An Introduction : Springer, 2021, p. 403.
3. Lars Wanhammar, Tapio Saramaki Digital Filters Using MATLAB Springer 2020 p. 798.
4. Luis F. Chaparro, Aydin Akan Signals and Systems using MATLAB, 3rd Edition Academic Press 2018 p. 820.
5. MATLAB Signal Processing Toolbox User's Guide (R2021a): The MathWorks, Inc. : 2021 :p.1404.
6. Samir I. Abood Digital Signal Processing: A Primer With MATLAB CRC Press 2020, p. 338.

### *Допоміжна література*

1. Братченко Г. Д., Перелигін Б. В., Банзак О. В., Казакова Н. Ф., Григор'єв Д. В. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник. – Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. – 452 с.
2. Заболотній С. В. Цифрове оброблення сигналів: Посібник для студентів. Черкаси: ЧДТУ, 2010. – 119 с.
3. Філатова Г.Є. Проектування цифрових фільтрів: навчальний посібник /Г.Є. Філатова. – Х. : НТУ «ХП», 2017. – 120 с.
4. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів. Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 79 с.
5. Теорія сигналів: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А.О. Попов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 268 с.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ОК26-2023
	Екземпляр № 1	Арк 12 / 12

## 12. Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://www.osvita.ua>
2. <https://bookname.com.ua>
3. <https://www.pcblibraries.com>
4. <https://www.ebooks.com>
5. [https://oleksa-site.blogspot.com/p/blog-page\\_27.html](https://oleksa-site.blogspot.com/p/blog-page_27.html)
6. DM00031020 Reference manual [Електронний ресурс]. – URL: [http://www.st.com/st-web ui static/active en/resource/technical/document/reference\\_manual / DM00031020.pdf](http://www.st.com/st-web/ui/static/active/en/resource/technical/document/reference_manual/DM00031020.pdf).
7. DM00039084 User manual [Електронний ресурс]. – URL:<http://www.st.com/st-web>.
8. Cortex™ -M4 Devices Generic User Guide [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.dui0553a/DUI0553A\\_cortex\\_m4\\_dgug.pdf](http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.dui0553a/DUI0553A_cortex_m4_dgug.pdf).
9. STM32F4 MCU series [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference\\_manual](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference_manual). pdf.