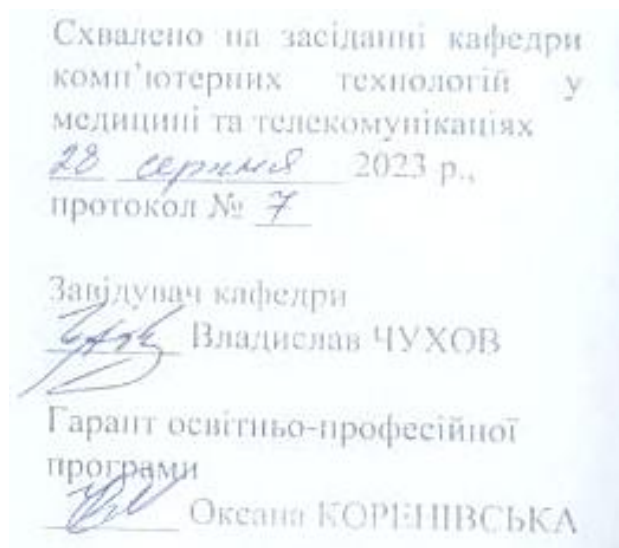


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 1



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «Методи цифрової обробки біомедичних сигналів»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»  
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»  
освітньо-професійна програма «Біомедична інженерія»  
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій  
кафедра комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях



Розробник: кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях НІКІТЧУК 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-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 2

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів 5	Галузь знань шифр галузі «Хімічна інженерія та біоінженерія»	Нормативна	
Модулів – 1	Спеціальність код спеціальності 163 «Біомедична інженерія»	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 3		1	-
Загальна кількість годин – 150		Семестр	
		1	-
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи – 6	Освітній ступінь «магістр»	Лекції	
		32 год.	-
		Практичні	
		16 год.	-
		Лабораторні	
		- год.	-
		Самостійна робота	
102 год.	-		
Вид контролю: екзамен			

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

для денної форми навчання – 32 % аудиторних занять, 68 % самостійної та індивідуальної роботи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 3

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою викладання дисципліни** «Методи цифрової обробки біомедичних сигналів» є надання майбутнім фахівцям основ науково-теоретичних знань та практичних навичок з математичних методів опису, перетворення, аналізу та фільтрації біомедичних сигналів та зображень.

### Завданнями вивчення дисципліни:

Головна задача навчальної дисципліни полягає у підготовці студентів з питань цифрової обробки біомедичних сигналів та зображень шляхом стискання вхідної інформації із застосуванням методів дискретних перетворень сигналів та побудови цифрових фільтрів. Для досягнення необхідного рівня знань в навчальній дисципліні використовуються основні засоби впливу на засвоєння навчального матеріалу. Тому в процесі викладання дисципліни вирішуються задачі подання навчального матеріалу на інформаційних засадах у сукупності з елементами зворотного зв'язку та контролем за опануванням знань.

Зміст навчальної дисципліни направлений на формування наступних **компетентностей**, визначених стандартом вищої освіти зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія»:

ЗК-3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

СК-3. Здатність аналізувати складні медико-інженерні та біоінженерні проблеми та здійснювати їх формалізацію для знаходження кількісних рішень із застосуванням сучасних математичних методів та інформаційних технологій.

СК-5. Здатність розробляти технічні завдання на створення, а також моделювати, оцінювати, проектувати та конструювати складні біоінженерні та медико-інженерні системи і технології.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних **програмних результатів** навчання за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»:

РН-1. Проектувати, конструювати вдосконалювати та застосовувати медико-технічні та біоінженерні вироби, прилади, апарати і системи з дотриманням технічних вимог, а також супроводжувати їх експлуатацію.

РН-2. Аналізувати і вирішувати складні медико-інженерні та біоінженерні проблеми із застосуванням математичних методів та інформаційних технологій.

РН-3. Створювати і вдосконалювати засоби, методи та технології біомедичної інженерії для всебічного дослідження і розробки біоінженерних об'єктів та систем медико-технічного призначення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 4

### 3. Програма навчальної дисципліни Змістовний модуль 1

#### 1. Вступ в дисципліну.

Вступ в дисципліну. Задачі дисципліни. Природа сигналів. Цілі аналізу сигналів. Труднощі, що зустрічаються при аналізі сигналів. Задачі ЦОС, її переваги та недоліки у порівнянні з аналоговою обробкою сигналів. Узагальнена система ЦОС. Основні операції ЦОС.

Використання цифрової обробки в сучасній техніці.

**2. Види сигналів.** Аналогові, цифрові сигнали. Види модуляції. Основні параметри сигналів. Основна смуга частот. Нормована частота.

**3. Принципи формування цифрового сигналу та відтворення аналогового сигналу.** Теорема відліків (Котельникова). Дискретизація сигналу з фінітним спектром. Дискретизація сигналу з нескінченним спектром. Критерій Найквіста. Накладання відображень спектру сигналу. Фільтр захисту від накладання спектрів (антиалайзінговий). Дискретизація/відтворення вузько смугових сигналів. Надлишкова дискретизація і інтерполяція. Субдискретизація і децимація. Відтворення радіосигналу за відліками відеосигналу (сигналу ПЧ)

**4. Дискретні системи. Цифровий фільтр (ЦФ) як дискретна лінійна система.** Різницеві рівняння дискретних лінійних систем. Нерекурсивні (НЦФ) та рекурсивні (РЦФ) цифрові фільтри. Структурні схеми фільтрів. З'єднання фільтрів. Схеми НЦФ. Схеми РЦФ. Часові характеристики ЦФ. Імпульсна характеристика. Зв'язок імпульсної характеристики з передавальною функцією.

### Змістовний модуль 2

**5. Перетворення Фур'є та його використання для аналізу лінійних систем. Дискретне перетворення Фур'є.** Властивості перетворення Фур'є. Спектральний аналіз та швидке перетворення Фур'є. Обчислення зворотного перетворення Фур'є. Властивості ШПФ. Спектральний аналіз із застосуванням ШПФ.

**6. Дискретизація детермінованих та випадкових зображень. Z - перетворення. Перетворення Лапласа (s-перетворення). Z-перетворення.** Перехід від перетворення Лапласа до Z-перетворення. Пряме Z-перетворення. Властивості Z-перетворення. Зворотне Z-перетворення. Z-перетворення дискретних сигналів. Його властивості. Зв'язок z-перетворення з перетвореннями Фур'є та Лапласа.

**7. Вейвлети**

**8. Гільбертове перетворення**

**9. Фазові площини**

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 5

### Змістовний модуль 3

**10. Основи цифрового представлення зображень.** Зображення як багатовимірні сигнали. Сірошкальне зображення. Застосування цифрової обробки зображень. Цифрове представлення зображень. Неперервне та дискретне зображення. Елементи дискретного зображення – пікселі. Дискретизація зображень. Визначення реального часу. Апаратний, програмний та апаратно-програмний способи реалізації алгоритмів цифрової обробки сигналів. Просторова область обробки зображень. Градаційна перетворення зображень. Види градаційних перетворень. Степеневі перетворення зображень. Процедура гаммакорекції. Еквалізація гістограми. Означення поняття гістограми дискретного зображення. Причини, що обумовлюють застосування еквалізації гістограми. Просторова фільтрація зображень. «Маска» коефіцієнтів. Приклади масок. Медіанна фільтрація.

**11. Частотні методи покращення зображень.** Двовимірне перетворення Фур'є. Пряме та обернене двовимірне перетворення Фур'є для неперервних зображень. Пряме та обернене двовимірне перетворення Фур'є для дискретних зображень. Періодичність спектрів дискретних зображень. Амплітудний та фазовий спектри зображень. Фільтрація зображень у частотній області. Комплексна частотна характеристика фільтра. Види фільтрів: фільтр нижніх частот, фільтр верхніх частот, смуговий фільтр та загороджувальний фільтр. Перетворення спектрів зображень лінійними фільтрами.

**12. Цифрова обробка кольорових зображень** Адитивна колірна модель RGB. Кодування кольору градаціями складових каналів (Red, Green, Blue). Переваги та недоліки колірної моделі RGB. Субтрактивна колірна модель CMYK та її застосування у поліграфії при кольоровому друці. Колірна модель HSB(HSV). Характеристики кольору: Hue – колірний тон, Saturation – насиченість, Brightness – яскравість, Value – значення кольору. Способи візуалізації колірного простору.

**13. Стиснення зображень.** Методи стиснення зображень. Стиснення з втратами. Стиснення без втрат. Метод стиснення на основі групового кодування (алгоритм RLE – run-length encoding). Метод стиснення з втратами (алгоритм JPEG – Joint Photographic Expert Group). Алгоритм Хаффмана. Алгоритм JBIG (Joint Bi level Experts Group) для стиснення однобітних чорно-білих зображень. Фрактальний стиск.

**14. Основи сегментації зображень.** Сегментація зображень. Практичне застосування сегментації. Методи сегментації, засновані на кластеризації. Методи сегментації використанням гістограми. Метод розростання областей з насіння. Використання яскравості пікселів. Методи розрізу графа. Метод водоподілу. Сегментація за допомогою моделі. Багатомасштабна сегментація.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11/6

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

Кредитні модулі	Змістовні модулі	Кількість годин			
		Всього	Лекції	Практичні	Самостійна робота
1	2	3	4	5	6
	<b>Змістовний модуль 1</b>				
№ 1	1. Вступ в дисципліну. Вступ в дисципліну. Задачі дисципліни. Природа сигналів. Цілі аналізу сигналів. Труднощі, що зустрічаються при аналізі сигналів. Задачі ЦОС, її переваги та недоліки у порівнянні з аналоговою обробкою сигналів. Узагальнена система ЦОС. Основні операції ЦОС. Використання цифрової обробки в сучасній техніці.	4	2	-	2
	2. Види сигналів. Аналогові, цифрові сигнали. Види модуляції. Основні параметри сигналів. Основна смуга частот. Нормована частота.	4	2	-	2
	3. Принципи формування цифрового сигналу та відтворення аналогового сигналу. Теорема відліків (Котельникова). Дискретизація сигналу з фінітним спектром. Дискретизація сигналу з нескінченним спектром. Критерій Найквіста. Накладання відображень спектру сигналу. Фільтр захисту від накладання спектрів (антиалайзінговий). Дискретизація/відтворення вузько смугових сигналів. Надлишкова дискретизація і інтерполяція. Субдискретизація і децимація. Відтворення радіосигналу за відліками відеосигналу (сигналу ПЧ)	4	2	-	2
	4. Дискретні системи. Цифровий фільтр (ЦФ) як дискретна лінійна система. Різницеві рівняння дискретних лінійних систем. Нерекурсивні (НЦФ) та рекурсивні (РЦФ) цифрові фільтри. Структурні схеми фільтрів. З'єднання фільтрів. Схеми НЦФ. Схеми РЦФ. Часові характеристики ЦФ. Імпульсна характеристика.	6	2	-	4

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 7

	Зв'язок імпульсної характеристики з передавальною функцією.				
	П1 Підбір емпіричних формул як математичних моделей експериментально отриманих даних	12	-	2	10
	П2 Побудова математичних моделей за експериментальними даними (інтерполяція).	12	-	2	10
	<b>Разом змістовий модуль 1</b>	<b>42</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>30</b>
	<b>Змістовний модуль 2</b>				
№ 2	5. Перетворення Фур'є та його використання для аналізу лінійних систем. Дискретне перетворення Фур'є. Властивості перетворення Фур'є. Спектральний аналіз та швидке перетворення Фур'є. Обчислення зворотного перетворення Фур'є. Властивості ШПФ. Спектральний аналіз із застосуванням ШПФ.	8	4	-	4
	6. Дискретизація детермінованих та випадкових зображень. Z-перетворення. Перетворення Лапласа (s-перетворення). Z-перетворення. Перехід від перетворення Лапласа до Z-перетворення. Пряме Z-перетворення. Властивості Z-перетворення. Зворотне Z-перетворення. Z-перетворення дискретних сигналів. Його властивості. Зв'язок z-перетворення з перетвореннями Фур'є та Лапласа.	6	4	-	2
	7. Вейвлети	4	2	-	2
	8. Гільбертове перетворення	4	2	-	2
	9. Фазові площини	4	2	-	2
	П3 Розкладання сигналу та його реконструкція методом перетворення Фур'є.	12	-	2	10
	П4 Спектральні моделі в медтехніці	12	-	2	10
	П5 Застосування Вейвлет-перетворення	12	-	2	10
	<b>Разом змістовий модуль 2</b>	<b>62</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>42</b>
		<b>Змістовний модуль 3</b>			
№ 3	Тема 10. Основи цифрового представлення зображень. Зображення як багатовимірні сигнали. Сірошкальне зображення. Застосування цифрової обробки зображень. Цифрове представлення зображень. Неперервне та дискретне зображення. Елементи дискретного зображення – пікселі. Дискретизація зображень. Визначення реального часу. Апаратний, програмний та апаратно-	4	2	-	2

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 8

<p>програмний способи реалізації алгоритмів цифрової обробки сигналів. Просторова область обробки зображень. Градаційна перетворення зображень. Види градаційних перетворень. Степеневі перетворення зображень. Процедура гаммакорекції. Еквалізація гістограми. Означення поняття гістограми дискретного зображення. Причини, що обумовлюють застосування еквалізації гістограми. Просторова фільтрація зображень. «Маска» коефіцієнтів. Приклади масок. Медіанна фільтрація.</p>				
<p>Тема 11. Частотні методи покращення зображень. Двовимірне перетворення Фур'є. Пряме та обернене двовимірне перетворення Фур'є для неперервних зображень. Пряме та обернене двовимірне перетворення Фур'є для дискретних зображень. Періодичність спектрів дискретних зображень. Амплітудний та фазовий спектри зображень. Фільтрація зображень у частотній області. Комплексна частотна характеристика фільтра. Види фільтрів: фільтр нижніх частот, фільтр верхніх частот, смуговий фільтр та загороджувальний фільтр. Перетворення спектрів зображень лінійними фільтрами.</p>	4	2	-	2
<p>Тема 12. Цифрова обробка кольорових зображень Адитивна колірна модель RGB. Кодування кольору градаціями складових каналів (Red, Green, Blue). Переваги та недоліки колірної моделі RGB. Субтрактивна колірна модель CMYK та її застосування у поліграфії при кольоровому друці. Колірна модель HSB(HSV). Характеристики кольору: Hue – колірний тон, Saturation – насиченість, Brightness – яскравість, Value – значення кольору. Способи візуалізації колірного простору.</p>	4	2	-	2
<p>Тема 13. Стиснення зображень. Методи стиснення зображень. Стиснення з втратами. Стиснення без втрат. Метод стиснення на основі групового кодування (алгоритм RLE – run-length encoding). Метод стиснення з втратами (алгоритм JPEG – Joint Photographic Expert Group). Алгоритм Хаффмана.</p>	4	2	-	2



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 9

Алгоритм JBIG (Joint Bi level Experts Group) для стиснення однобітних чорно-білих зображень. Фрактальний стиск.				
Тема 14. Основи сегментації зображень. Сегментація зображень. Практичне застосування сегментації. Методи сегментації, засновані на кластеризації. Методи сегментації використанням гістограм. Метод розростання областей з насіння. Використання яскравості пікселів. Методи розрізу графа. Метод водоподілу. Сегментація за допомогою моделі. Багатомасштабна сегментація.	4	2	-	2
П6,7 Обробка медичних зображень	14	-	4	10
П8 Побудова цифрових фільтрів	12	-	2	10
<b>Разом змістовний модуль 3</b>	<b>46</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>30</b>
<b>ВСЬОГО</b>	<b>150</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>102</b>

## 5. Теми практичних занять

Тема роботи	Години
П1 Підбір емпіричних формул як математичних моделей експериментально отриманих даних	2
П2 Побудова математичних моделей за експериментальними даними (інтерполяція).	2
П3 Розкладання сигналу та його реконструкція методом перетворення Фурє.	2
П4 Спектральні моделі в медтехніці	2
П5 Застосування Вейвлет-перетворення	2
П6,7 Обробка медичних зображень	4
П8 Побудова цифрових фільтрів	2
<b>Разом</b>	<b>16</b>

## 6. Завдання для самостійної роботи

Самостійна робота студентів направлена на засвоєння лекційного матеріалу та вивчення матеріалу, що винесений для самостійного опрацювання. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи додаються.

## 7. Індивідуальні завдання

Навчальним планом не передбачені.

## 8. Методи контролю

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 10

Кредитна модульна робота проводиться у вигляді письмової роботи. До складу роботи входять теоретичні і практичні завдання у тестовій формі.

Захист практичних робіт проводиться по заздалегідь підготованим звітам в усній формі і полягає в умінні логічно обґрунтувати та чисельно підтвердити розрахунками отримані результати вимірювань та обробки біологічних сигналів.

Екзамен проводиться в письмовій формі за тестовими завданнями, сформованими з теоретичних і практичних питань до модулів.

## 9. Схема нарахування балів

Поточне тестування та самостійна робота						Сума
Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2		Змістовий модуль 3		100
T1, T2, Пр.1	T3, T4, Пр.2	T5, T6, Пр.3	T7 – T9, Пр.4,5	T10 - T12, Пр.6,7	T13, T14, Пр.8	
15	15	15	20	20	15	

T1... T14 – теми змістових модулів.

Пр.1...Пр.8 – практичні роботи

## Шкала оцінювання: національна та ECTS

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

## 10. Рекомендована література

### Основна література

1. Коломієць Р. О., Нікітчук Т. М., Морозов Д. С. Отримання та обробка біосигналів: Навчальний посібник для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» [Електронний ресурс] / Р. О. Коломієць, Т. М. Нікітчук, Д. С. Морозов – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2017 – 232 с.

<https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=142449&forceview=1>

2. Конспект лекцій з дисципліни «Обробка сигналів та зображень» (для студентів денної форми навчання напряму 6.170101 «Безпека інформаційних і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/163.00.2/М/ОК9 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 11

комунікаційних систем») /Укладачі: к. т. н., доцент Фриз М. Є., Стадник М. А. – Тернопіль: ЕНТУ, 2015 – 97 с.

3. Абакумов В. Г. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів : навчальний посібник / В. Г. Абакумов, С. М. Злепко, З. Ю. Готра та ін. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 352 с.

3. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посібник / уклад. : Ю.О. Ушенко, М.С. Гавриляк, М.В. Талах, В.В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. - 308 с.

4. Lizhe Tan. Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications 3rd Edition. - Academic Press; 3rd edition, 2018. - 920 p.

#### *Допоміжна література*

4. Володарський Е. Т. Статистична обробка даних: навч. посібник/ Е. Т. Володарський, Л. О. Кошева. – К.: НАУ, 2008. – 308 с.

5. М.О. Рибальченко. — Цифрова обробка сигналів. Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 79 с.

#### *Інформаційні ресурси в Інтернеті*

1. [www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Vnulp/Komp-nauky/2009\\_638/12.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Vnulp/Komp-nauky/2009_638/12.pdf) – структурне проектування автоматизованих систем
2. Освітній портал Житомирської політехніки <https://learn.ztu.edu.ua/>
3. <https://learn.ztu.edu.ua/course/view.php?id=4340>