

ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)  
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:



«21» июля 2023

Утвержден Ученым Советом ИФИ  
протокол № 33

**Инженерно-физический институт**

**Кафедра Телекоммуникаций**

**Автор(ы): кандидат физ.-мат. наук Никогосян Е.Г.**

*Ученое звание, ученая степень, Ф.И.О*

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**Дисциплина :** Б1.В.21 «Цифровая обработка сигналов»  
*Код и название дисциплины согласно учебному плану*

Для бакалавриата:

**Направление: 11.03.02 Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи**

**ЕРЕВАН**

## Структура и содержание УМКД

### 1. Аннотация

1.1. Курс «Цифровая обработка сигналов» в настоящее время занимает одно из центральных мест среди дисциплин профессиональной подготовки специалистов в области телекоммуникаций. Это определяется тем, что информация, наряду с материей и энергией, принадлежит к фундаментальным философским категориям естествознания и является одной из движущих сил современного развития науки, техники и человеческой цивилизации в целом. Профессионально грамотная и эффективная регистрация информации, ее обработка, интерпретация и использование возможны только при хороших знаниях теории методов и систем цифровой обработки сигналов.

1.2. Данная дисциплина теснейшим образом взаимосвязана с дисциплинами: общая теория связи, построение телекоммуникационных сетей и систем, теория связи с подвижными объектами, основы радиовещания и телевидения и с последующими УМКД магистратуры.

#### 1.3. Студент должен

- **знать** основы математического анализа, дискретной математики, общей теории связи
- **уметь** применять знания при решении соответствующих задач
- **владеть** навыками интегрального, дифференциального, векторного и матричного исчислений.

1.4. Дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины следующие – математика, физика, теория вероятностей и математическая статистика, основы радиотехники.

### 2. Содержание

2.1 **Цель дисциплины** - ознакомление студентов с основными методами и техническими приемами оцифровки сигналов, фильтрации, обработки и преобразований информационных данных в современных информационных системах регистрации, накопления, обработки и представления данных, изучение методов реализации в информационных системах и на современных персональных компьютерах эффективных алгоритмов преобразования и анализа информационных данных.

**Задача** - обеспечение основополагающих знаний необходимых для передачи и приема оцифрованных сигналов, их фильтрации, обработки и хранения.

2.2. После прохождения дисциплины студент должен

- **знать** основы теории цифровой обработки сигнала;
- **уметь** моделировать процессы регистрации данных и их обработки, определять параметры цифровых фильтров, выполнять цифровую фильтрацию результатов наблюдений.
- **иметь** представление обо всех основных методах цифровой обработки данных.
- **владеть** навыками постановки и решения задач связанных с цифровой обработкой, приемом и хранением информации

2.3. Трудоемкость дисциплины в академических часах **108**, в кредитах - **3**

2.3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
<b>1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:</b>	<b>108</b>
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	<b>42</b>
1.1.1. Лекции	<b>14</b>
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	
1.1.2.1. Обсуждение прикладных проектов	
1.1.2.2. Кейсы	
1.1.2.3. Деловые игры, тренинги	
1.1.2.4. Контрольные работы	
1.1.2.5. Решение задач	
1.1.3. Семинары	<b>28</b>
1.1.4. Лабораторные работы	
1.1.5. Решение практических задач	
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	<b>39</b>
1.2.1. Подготовка к экзаменам	
1.2.2. Другие виды самостоятельной работы, в т.ч. (указать)	
1.2.2.1. Письменные домашние задания	
1.2.2.2. Курсовые работы	
1.2.2.3. Эссе и рефераты	
1.2.2.4. Другое (указать)	
1.3. Консультации	
1.4. Другие методы и формы занятий	
Итоговый контроль (экзамен, зачет, диф. зачет - указать)	<b>Экзамен 27</b>

**2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы**

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Семинарские занятия (ак. часов)	Практические занятия (ак. часов)	Лабораторные работы (ак. часов)
1	2	3	4	5	6
<b>МОДУЛЬ 1. ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ И ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ</b>	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>14</b>		
<i>Введение</i>	1	0.5	0.5		
<i>Раздел 1. Свойства и преобразования дискретных сигналов</i>	12	3	9		
<i>Тема 1.1. Цифровые фильтры обработки одномерных сигналов.</i>	1	0.5	0.5		
<i>Тема 1.2. Фильтры сглаживания сигналов. Метод наименьших квадратов</i>	1	0.5	0.5		
<i>Тема 1.3. Разностные фильтры и фильтры интегрирования сигналов.</i>	3	0.5	2.5		
<i>Тема 1.4. Фильтрация случайных сигналов.</i>	2.5	0.5	2		
<i>Тема 1.5. Весовые функции.</i>	1.5	0.5	1		
<i>Тема 1.6. Нерекурсивные частотные цифровые фильтры.</i>	3	0.5	2.5		
<i>Раздел 2. Z-преобразования и рекуррентные фильтры</i>	7	3	4		
<i>Тема 2.1. Z-преобразование сигналов и системных функций.</i>	3	1	2		

<i>Тема 2.2. Рекурсивные цифровые фильтры.</i>	2	1	1		
<i>Тема 2.3. Рекурсивные частотные цифровые фильтры.</i>	2	0.5	1.5		
<b>МОДУЛЬ 2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ</b>	22	8	14		
<b>Раздел 3. Методы фильтрации цифровых данных</b>	16	5	11		
<i>Тема 3.1. Адаптивная фильтрация цифровых данных.</i>	1	0.5	0.5		
<i>Тема 3.2. Оптимальные линейные цифровые фильтры.</i>	1	0.5	0.5		
<i>Тема 3.3. Деконволюция цифровых сигналов.</i>	2	0.5	1.5		
<i>Тема 3.4. Аппроксимация сигналов и функций. Регрессия.</i>	3	1	2		
<i>Тема 3.5. Медианная фильтрация сигналов.</i>	3	0.5	2.5		
<i>Тема 3.6. Обработка изображений.</i>	3	1	2		
<i>Тема 3.7. Распознавание объектов изображений.</i>	3	1	2		
<b>Раздел 4. Вейвлет- преобразования</b>	6	3	3		
<i>Тема 4.1. Основы вейвлетного преобразования сигналов.</i>	2	1	1		
<i>Тема 4.2. Свойства вейвлет-преобразования сигналов.</i>	2	1	1		
<i>Тема 4.3. Вейвлетный кратко масштабный анализ (КМА).</i>	2	1	1		
<b>ИТОГО</b>	42	14	28		

2.3.3. Содержание разделов и тем дисциплины

**МОДУЛЬ 1. ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ И ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ**

***Введение в цифровую обработку сигналов.***

Цифровые сигналы. Обработка цифровых сигналов. Функциональные преобразования сигналов. Операции цифровой обработки. Линейная цифровая фильтрация. Дискретные преобразования. Области применения цифровой обработки сигналов.

Б [1] §1.1; Б [3] §1.1

**Раздел 1. Свойства и преобразования дискретных сигналов**

***Тема 1.1. Цифровые фильтры обработки одномерных сигналов.***

Нерекурсивные и рекурсивные цифровые фильтры. Импульсная реакция фильтров. Передаточные функции фильтров. Z-преобразование. Устойчивость фильтров. Частотные характеристики фильтров. Фазовая и групповая задержка сигналов. Структурные схемы цифровых фильтров.

***Тема 1.2. Фильтры сглаживания сигналов. Метод наименьших квадратов.***

Фильтры МНК 1-го, 2-го и 4-го порядка. Расчет коэффициентов фильтров. Импульсные реакции и частотные характеристики фильтров. Модификации фильтров. Оптимизация сглаживания. Расчет простого цифрового фильтра по частотной характеристике.

***Тема 1.3. Разностные фильтры и фильтры интегрирования сигналов.***

Разностные операторы. Выделение в сигналах шумов. Восстановление утраченных данных. Аппроксимация производных. Интегрирование данных. Алгоритмы интегрирования.

***Тема 1.4. Фильтрация случайных сигналов.***

Сохранение природы сигнала. Математическое ожидание. Корреляционные соотношения. Спектры мощности сигналов. Дисперсия выходного сигнала. Усиление шумов. Функция когерентности.

***Тема 1.5. Весовые функции.***

Явление Гиббса. Параметры эффекта. Последствия для практики. Нейтрализация явления Гиббса. Основные весовые функции.

***Тема 1.6. Нерекурсивные частотные цифровые фильтры.***

Типы фильтров. Методика расчетов. Идеальные частотные фильтры. Конечные приближения идеальных фильтров. Применение весовых функций. Гладкие частотные фильтры. Дифференцирующие цифровые фильтры. Принцип синтеза фильтров.

Б [1] §1.2; Б [3] §§1.2-1.4, § 2.1

**Раздел 2. Z-преобразования и рекуррентные фильтры**

***Тема 2.1. Z-преобразование сигналов и системных функций.***

Определение z-преобразования. Пространство Z - полиномов. Аналитическая форма z-образов. Свойства Z - преобразования. Применение преобразования. Обратное z - преобразование.

***Тема 2.2. Рекурсивные цифровые фильтры.***

Конструкция рекурсивных цифровых фильтров. Каскадная и параллельная форма. Режекторные и селекторные фильтры. Билинейное Z-преобразование при синтезе рекурсивных цифровых фильтров. Деформация частотной шкалы. Аппроксимационная задача синтеза фильтров. Передаточная функция фильтров. Виды рекурсивных фильтров.

***Тема 2.3. Рекурсивные частотные цифровые фильтры.***

Низкочастотный цифровой фильтр Баттеруорта. Передаточная функция фильтра. Преобразование Лапласа. Билинейное преобразование. Высокочастотный цифровой фильтр Баттеруорта. Синтез цифровых фильтров методом частотного преобразования. Полосовой цифровой фильтр Баттеруорта. Цифровые фильтры Чебышева.

Б [1] §§1.2, 1.3; Б [3] §2.2, §§ 3.1-3.6.

**МОДУЛЬ 2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА**

**Раздел 3. Методы фильтрации цифровых данных**

***Тема 3.1. Адаптивная фильтрация цифровых данных.***

Основные области применения. Адаптивный шумоподавитель. Адаптивный фильтр Винера. Адаптивный алгоритм наименьших квадратов Уидроу-Хопфа. Рекурсивные

схемы наименьших квадратов. Основы статистической группировки информации. Использование априорных данных. Эффективность метода. Статистическая регуляризация данных с очисткой от шумов. Статистическая группировка полезной информации.

***Тема 3.2. Оптимальные линейные цифровые фильтры.***

Критерии построения. Фильтр Колмогорова-Винера. Система линейных уравнений фильтра. Частотная характеристика. Эффективность оптимального фильтра. Фильтры прогнозирования и запаздывания. Оптимальные цифровые фильтры сжатия сигналов. Оптимальный фильтр обнаружения сигналов. Согласованный фильтр. Обратный фильтр. Оптимальный энергетический цифровой фильтр сигналов.

***Тема 3.3. Деконволюция цифровых сигналов.***

Понятие деконволюции сигналов. Особенности деконволюции. Устойчивость фильтров деконволюции. Инверсия импульсного отклика фильтра. Оптимальные фильтры деконволюции. Рекурсивная деконволюция сигналов. Фильтры сжатия сигналов.

***Тема 3.4. Аппроксимация сигналов и функций. Регрессия.***

Аппроксимация сигналов и функций рядами Тейлора. Полиномиальная аппроксимация. Сплайновая аппроксимация. Спектральный метод. Методика аппроксимации эмпирических данных. Линейная регрессия. Полиномиальная регрессия. Одномерная регрессия. Зональная регрессия. Нелинейная регрессия. Регрессия общего типа. Сглаживание данных. Предсказание зависимостей.

***Тема 3.5. Медианная фильтрация сигналов.***

Принцип фильтрации. Одномерные медианные фильтры. Двумерные фильтры. Достоинства и недостатки медианных фильтров. Медианная фильтрация комбинированных помех. Очистка сигналов от квазидетерминированного шума. Преобразование статистики шумов.

***Тема 3.6. Обработка изображений.***

Графическое представление изображений. Цветовые модели. Геометрические преобразования растровых изображений. Частотные искажения изображений и их устранение. Передискретизация изображений. Фильтрация изображений. Линейные и нелинейные фильтры. Пороговая фильтрация. Сжатие изображений, оценка потерь.



**Тема 3.7. Распознавание объектов изображений.**

Коррекция яркости и контрастности. Определение границ объектов на изображении. Выделение объектов. Выделение признаков объектов. Обнаружение и распознавание объектов. Методы распознавания.

Б [1] §§ 4 - 8.

**Раздел 4. Вейвлет- преобразования**

**Тема 4.1. Основы вейвлетного преобразования сигналов.**

Истоки вейвлет-преобразования. Принцип преобразования. Вейвлетный спектр. Непрерывное вейвлет-преобразование. Дискретное вейвлет-преобразование. Частотно-временная локализация вейвлет-анализа. Практическое использование.

**Тема 4.2. Свойства вейвлет-преобразования сигналов.**

Базисные функции вейвлет-преобразования. Свойства вейвлета. Отображение преобразования. Вейвлетные функции. Свойства вейвлет-преобразования. Вейвлет-преобразование простых сигналов.

**Тема 4.3. Вейвлетный кратномасштабный анализ (КМА).**

Принцип кратномасштабного анализа. Математические основы КМА. Масштабирующая функция. Базисный вейвлет. Разложение функций на вейвлетные ряды. Быстрое вейвлет-преобразование. Реконструкция сигналов. Пакетные вейвлеты. Фильтры дуальной декомпозиции и реконструкции сигналов. Ортогональные и биортогональные вейвлеты. Вейвлет Добеши. Двумерные вейвлеты.

Б [3] § 9.

2.3.4. Краткое содержание семинарских занятий – 14 часов.

1. Сглаживания сигнала или метод наименьших квадратов.
2. Фильтрация случайных сигналов.
3. Нерекурсивные частотные цифровые фильтры.
4. Z-преобразование сигналов.
5. Рекурсивные цифровые фильтры.
6. Деконволюция и аппроксимация сигналов. Медианная фильтрация.
7. Обработка изображений.
8. Вейвлет-преобразования сигналов.

2.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Учебные методические пособия
- Вычислительная техника
- Проектор

2.5. Распределение весов по модулям и формам контроля

Формы контролей	Весы форм текущих контролей в результирующих оценках текущих контролей			Весы форм промежуточных контролей в оценках промежуточных контролей			Весы оценок промежуточных контролей и результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей			Весы итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточных контролей	Весы результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля	
	M1 <sup>1</sup>	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3			
Вид учебной работы/контроля												
Контрольная работа					1							
Тест												
Курсовая работа												
Лабораторные работы												
Письменные домашние задания		0.5										
Реферат												
Эссе												
Семинары		0.5										
Решение задач												
Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0.4				
Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0.6				
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей											-	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей											1.0	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в											-	

<sup>1</sup> Учебный Модуль

результатирующей оценке промежуточных контролей											
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля											0.4
Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)											(Экзамен) 0.6
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

### 3. Теоретический блок

#### Рекомендуемая литература

##### а) Базовые учебники

1. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: Справочник. - М.: Радио и связь, 1985.- 312с.
2. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1990.- 256с.
3. Солонина А.И. и др. Основы цифровой обработки сигналов. Учебное пособие. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 768 с.
4. Давыдов А.В. Цифровая обработка сигналов. Тематические лекции: Учебное пособие в электронной форме. – Екатеринбург, УГГУ, ИГиГ, каф. ГИН.

##### б) Дополнительная литература.

5. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - М.: "Вильямс", 2004, 992 с.
6. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2003. – 608 с.
7. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 448 с.
8. <http://rf.coltel.ru/arsenal/courses/05.htm>
9. <http://prodav.narod.ru/program/index.html>

### 4. Перечень экзаменационных вопросов

1. Цифровые сигналы. Преобразование сигнала в цифровую форму. Обработка цифровых

- сигналов. Области применения цифровой обработки сигналов.
2. Функциональные преобразования сигналов. Операции цифровой обработки. Линейная цифровая фильтрация. Дискретные преобразования.
  3. Нерекурсивные и рекурсивные цифровые фильтры. Импульсная реакция фильтров.
  4. Передаточные функции фильтров. Z-преобразование.
  5. Частотные характеристики фильтров. Фазовая и групповая задержка сигналов.
  6. Устойчивость фильтров. Структурные схемы цифровых фильтров.
  7. Фильтры сглаживания сигналов. Метод наименьших квадратов.
  8. Фильтры МНК 1-го, 2-го и 4-го порядка. Расчет коэффициентов фильтров.
  9. Импульсные реакции и частотные характеристики фильтров. Модификации фильтров.
  10. Оптимизация сглаживания. Расчет простого цифрового фильтра по частотной характеристике.
  11. Разностные фильтры и фильтры интегрирования сигналов.
  12. Разностные операторы. Выделение в сигналах шумов. Восстановление утраченных данных.
  13. Аппроксимация производных. Интегрирование данных. Алгоритмы интегрирования. Фильтрация случайных сигналов.
  14. Математическое ожидание. Корреляционные соотношения.
  15. Спектры мощности сигналов. Дисперсия выходного сигнала. Усиление шумов. Функция когерентности.
  16. Весовые функции. Явление Гиббса. Параметры эффекта. Последствия для практики. Нейтрализация явления Гиббса. Основные весовые функции.
  17. Нерекурсивные частотные цифровые фильтры. Типы фильтров. Методика расчетов. Идеальные частотные фильтры. Конечные приближения идеальных фильтров.
  18. Применение весовых функций. Гладкие частотные фильтры. Дифференцирующие цифровые фильтры. Принцип синтеза фильтров.
  19. Z-преобразование сигналов и системных функций.
  20. Определение z-преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z-образов. Свойства z - преобразования. Применение преобразования. Обратное z - преобразование.
  21. Рекурсивные цифровые фильтры. Конструкция рекурсивных цифровых фильтров. Каскадная и параллельная форма.

22. Режекторные и селекторные фильтры. Билинейное  $z$ -преобразование при синтезе рекурсивных цифровых фильтров.
23. Деформация частотной шкалы. Аппроксимационная задача синтеза фильтров. Передаточная функция фильтров. Виды рекурсивных фильтров. Рекурсивные частотные цифровые фильтры.
24. Низкочастотный цифровой фильтр Баттеруорта. Передаточная функция фильтра.
25. Преобразование Лапласа. Билинейное преобразование.
26. Высокочастотный цифровой фильтр Баттеруорта. Синтез цифровых фильтров методом частотного преобразования. Полосовой цифровой фильтр Баттеруорта. Цифровые фильтры Чебышева.
27. Адаптивная фильтрация цифровых данных. Адаптивный шумоподаватель. Адаптивный фильтр Винера. Адаптивный алгоритм наименьших квадратов Уидроу-Хопфа.
28. Основы статистической группировки информации. Использование априорных данных.
29. Статистическая группировка полезной информации. Оптимальные линейные цифровые фильтры.
30. Эффективность оптимального фильтра. Фильтры прогнозирования и запаздывания. Оптимальные цифровые фильтры сжатия сигналов.
31. Оптимальный фильтр обнаружения сигналов. Согласованный фильтр. Обратный фильтр. Оптимальный энергетический цифровой фильтр сигналов.
32. Деконволюция цифровых сигналов. Особенности деконволюции. Устойчивость фильтров деконволюции.
33. Инверсия импульсного отклика фильтра. Оптимальные фильтры деконволюции. Рекурсивная деконволюция сигналов.
34. Аппроксимация сигналов и функций. Регрессия.
35. Аппроксимация сигналов и функций рядами Тейлора. Полиномиальная аппроксимация.
36. Сплайновая аппроксимация. Спектральный метод. Методика аппроксимации эмпирических данных.
37. Линейная регрессия. Полиномиальная регрессия. Одномерная регрессия. Зональная регрессия. Нелинейная регрессия. Регрессия общего типа. Сглаживание данных.
38. Медианная фильтрация сигналов. Одномерные медианные фильтры. Двумерные фильтры. Достоинства и недостатки медианных фильтров.
39. Медианная фильтрация комбинированных помех. Очистка сигналов от

квазидетерминированного шума.

40. Графическое представление изображений. Цветовые модели. Геометрические преобразования растровых изображений.
41. Частотные искажения изображений и их устранение. Передискретизация изображений. Фильтрация изображений. Линейные и нелинейные фильтры. Пороговая фильтрация.
42. Сжатие изображений, оценка потерь.
43. Распознавание объектов изображений.
44. Определение границ объектов на изображении. Выделение объектов. Выделение признаков объектов. Обнаружение и распознавание объектов. Методы распознавания.
45. Основы вейвлетного преобразования сигналов. Вейвлетный спектр.
46. Непрерывное вейвлет-преобразование.
47. Дискретное вейвлет-преобразование.
48. Частотно-временная локализация вейвлет-анализа.
49. Базисные функции вейвлет-преобразования. Отображение преобразования. Вейвлетные функции. Свойства вейвлет-преобразования.
50. Вейвлетный кратномасштабный анализ (КМА).
51. Принцип кратномасштабного анализа. Математические основы КМА.

**Учебная программа:**

**одобрена Кафедрой телекоммуникаций**

**Зав. кафедрой: А.К. Агаронян**

\_\_\_\_\_  
(подпись)