

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИИТР

А.А. Галкин

2021г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Цифровая обработка сигналов

**Направление подготовки:**

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

**Профиль/программа подготовки:**

Мобильные средства связи

Владимир  
2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины «Цифровая обработка сигналов» является формирование базовых навыков применения основных положений устройств цифровой обработки сигналов для решения задач в связанных радиотехнических системах.

Задачи: подготовка в области радиотехники для профессиональной деятельности в проектно-конструкторской; производственно-технологической; научно-исследовательской; сервисно-эксплуатационной сферах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов» относится к обязательной части дисциплин.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, при менять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации УК-1.2 Умеет соотносить разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности УК-1.3 Владеет навыками научного поиска и практической работы с информационными источниками; методами принятия решений	Знает современные методы и средства автоматизированной обработки информации на базе теории дискретных сигналов и процедур. Умеет применять современные методы и средства автоматизированной обработки информации на базе теории дискретных сигналов и процедур. Владеет навыками дискретной и цифровой интерпретации сигналов различной природы, алгоритмов их обработки.	Тестовые вопросы Практико-ориентированные задания.
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Знает основы математики, физики, вычислительной техники и программирования ОПК-1.2. Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования ОПК-1.3. Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности	Знает математические методы моделирования радиоэлектронных устройств по типовым методикам, в том числе, с использованием пакетов прикладных программ. Умеет применять математические методы моделирования радиоэлектронных устройств по типовым методикам, в том числе, с использованием пакетов прикладных программ. Владеет математическими методами моделирования радиоэлектронных устройств по типовым методикам, в том числе, с использованием пакетов прикладных программ.	Тестовые вопросы Практико-ориентированные задания.

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины: 4 зачетных единицы, 144 часа

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Роль дискретной математики при проектировании устройств ЦОС	6	1	2	4			8	
2	Дискретизация сигналов во времени	6	2,3	2	4	4	4	8	
3	Описание дискретных сигналов в р- и z-плоскостях	6	4,5	2	4			8	Рейтинг-контроль 1
4	Частотные образы дискретизированных сигналов	6	6,7	2	4	4	4	8	
5	z-преобразования дискретных сигналов	6	8,9	2	4			8	
6	Алгоритмы ДПФ, ОДПФ, БПФ, ОБПФ	6	10,11,12	2	4	4	4	8	Рейтинг-контроль 2
7	Цифровые сверточные преобразования	6	13,14	2	4			8	
8	Корреляционные функции и спектры дискретизированных процессов	6	15,16	2	4	6	4	8	
9	Квантование по уровню	6	17,18	2	4			8	Рейтинг-контроль 3
Всего за 6 семестр:				18	36	18		72	Зачет с оценкой
Наличие в дисциплине КП/КР				-					
Итого по дисциплине				18	36	18		72	Зачет

##### Содержание лекционных занятий

Тема 1. Роль дискретной математики при проектировании устройств ЦОС

Содержание: структура, предмет и задачи курса; исторический очерк; основные объекты и направления исследований; классификация

Тема 2. Дискретизация сигналов во времени

Содержание: Дискретизация сигналов и типовые ДП

Тема 3. Описание дискретных сигналов в  $p$ - и  $z$ -плоскостях

Содержание: Аналитическое описание сигналов в комплексной плоскости  $p$  и  $z$  – преобразование

Тема 4. Частотные образы дискретизированных сигналов

Содержание: Отображение ДП в частотной области. Спектры ДП

Тема 5.  $z$ -преобразования дискретных сигналов

Содержание: Вычисление  $z$  – образов типовых ДП. Свойства  $z$  – преобразования. Обратное  $z$  – преобразование и способы его вычисления

Тема 6. Алгоритмы ДПФ, ОДПФ, БПФ, ОБПФ

Содержание: Определение ДПФ и ОДПФ. Основные свойства ДПФ. Быстрое преобразование Фурье (БПФ)

Тема 7. Цифровые сверточные преобразования

Содержание: Процедуры дискретной свертки

Тема 8. Корреляционные функции и спектры дискретизированных процессов

Содержание: Процедуры корреляции. Энергетические спектры

Тема 9. Квантование по уровню

Содержание: Определение процедуры квантования. Реализация квантования. Ошибки квантования.

### Содержание практических занятий

Тема 1. Роль дискретной математики при проектировании устройств ЦОС

Содержание: структура, предмет и задачи курса; исторический очерк; основные объекты и направления исследований; классификация

Тема 2. Дискретизация сигналов во времени

Содержание: Дискретизация сигналов и типовые ДП

Тема 3. Описание дискретных сигналов в  $p$ - и  $z$ -плоскостях

Содержание: Аналитическое описание сигналов в комплексной плоскости  $p$  и  $z$  – преобразование

Тема 4. Частотные образы дискретизированных сигналов

Содержание: Отображение ДП в частотной области. Спектры ДП

Тема 5.  $z$ -преобразования дискретных сигналов

Содержание: Вычисление  $z$  – образов типовых ДП. Свойства  $z$  – преобразования. Обратное  $z$  – преобразование и способы его вычисления

Тема 6. Алгоритмы ДПФ, ОДПФ, БПФ, ОБПФ

Содержание: Определение ДПФ и ОДПФ. Основные свойства ДПФ. Быстрое преобразование Фурье (БПФ)

Тема 7. Цифровые сверточные преобразования

Содержание: Процедуры дискретной свертки

Тема 8. Корреляционные функции и спектры дискретизированных процессов

Содержание: Процедуры корреляции. Энергетические спектры

Тема 9. Квантование по уровню

Содержание: Определение процедуры квантования. Реализация квантования. Ошибки квантования.

### Содержание лабораторных занятий

Тема 2. Лабораторная работа 1.

Содержание: Синтез КИХ-фильтров методом окон

Тема 4. Лабораторная работа 2.

Содержание: Синтез КИХ-фильтров методом наилучшей равномерной (чебышевской) аппроксимации

Тема 6. Лабораторная работа 3.

Содержание: Синтез цифровых фильтров в среде GUI FDATool

Тема 8. Лабораторная работа 4.

Содержание: Адаптивные фильтры

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### 5.1. Текущий контроль успеваемости

#### Рейтинг-контроль 1

1. Обобщенная структура радиосистемы с ЦОС. Разновидности РЭС с ЦОС.
2. Классификация сигналов и типовые процедуры ЦОС.
3. Дискретизация непрерывных сигналов. Примеры дискретизации.
4. Типовые дискретные последовательности (ДП). Модуль, аргумент, энергия и мощность ДП.
5. Ортогональность и комплексная сопряженность ДП. Векторное отображение ДП.
6. Представление типовых непрерывных и дискретных сигналов в  $p$ -плоскости.
7. Спектр дискретизированного сигнала.
8. Эффект наложения спектров при дискретизации.
9. Сущность и свойства  $Z$ -преобразования.  $Z$ -преобразования типовых сигналов.
10. Влияние эффекта дискретизации на положение нулей и полюсов в  $p$ - и  $Z$ -плоскостях.
11. Взаимосвязь отображений сигналов в  $p$ - и  $Z$ -плоскостях. Показать на примерах ДП.
12. Вычисление обратного  $Z$ -преобразования (пояснить на примерах).
13. Определение ДПФ и ОДПФ. Особенности оператора  $W$ . Влияние размерности массива данных  $N$  на характер спектра ДПФ.
14. Матричная и векторная форма ДПФ и ОДПФ. Связь ДПФ и  $Z$ -преобразования.
15. Организация вычислительного процесса ДПФ. Оценка вычислительных затрат.

#### Рейтинг-контроль 2

1. Особенности спектров дискретизированных сигналов.
2. Сопоставление спектров непрерывных и дискретных сигналов и спектра ДПФ.
3. Обобщение отображение сигналов в координатах  $\square$ ,  $p = \sigma + j\omega$ ,  $z = \exp(pT)$ .
4. Разновидности спектров ДПФ и их особенности.
5. Организация БПФВ при произвольном  $N$ .
6. Перестановка входных данных при БПФВ. Блок-схема алгоритма.
7. Организация БПФЧ при произвольном  $N$ .
8. Сравнение вычислительных затрат при ДПФ и БПФ.
9. Способы отображения периодической свертки. Пример вычисления ПС при заданном  $N$ .
10. Вычисление периодической свертки с помощью ДПФ (показать на примере).
11. Определение и пример вычисления линейной свертки.
12. Вычисление линейной свертки при помощи периодической.
13. Сравнение (на примере) линейной и периодической сверток.  $2N$ - точечные свертки.
14. Вычисление сверток с помощью  $Z$ - преобразования.
15. Автокорреляционная функция и энергетический спектр дискретной последовательности. Связь спектров и корреляции сигналов.
16. Взаимная корреляционная функция и энергетический спектр двух дискретных последовательностей. Связь спектров и корреляций сигналов.

#### Рейтинг-контроль 3

1. Квантования сигналов по уровню. Ошибки квантования.
2. Сопоставление дискретных и непрерывных линейных систем фильтрации.
3. Алгоритм функционирования и свойства линейных дискретных фильтров (ДЛФ) и их соединения. Основные структуры ДЛФ и их соединения.
4. Нерекурсивные фильтры. Описывающие уравнения и основные характеристики (СФ, ЧХ, ДПХ).
5. Анализ НФ1-го порядка. Характеристики НФ1.
6. НФ1 - дискретный дифференциатор.

7. НФ1- режекторный фильтр.
8. НФ 2-го порядка. Характеристики НФ2.
9. Алгоритм и коэффициенты передачи рекурсивного фильтра (РФ).
10. РФ 1-го порядка и его характеристики.
11. РФ1 - дискретный интегратор.
12. РФ 2-го порядка и его характеристики.
13. Структура ЦФ на основе микро-ЭВМ. Погрешности ЦФ.
14. Потенциальные возможности цифровых фильтров. Предельное быстродействие и пути его повышения.
15. Представление радиосигналов в виде квадратурных составляющих и выбор частоты дискретизации.
16. Структура радиоприемного устройства с цифровой обработкой сигналов ( на основе квадратурных каналов ).
17. Основные применения гомоморфной обработки и их особенности.
18. Цифровые устройства распознавания двумерных образов.
19. Реализация радиосистем различного назначения (связных, радиолокационных, радионавигационных) на основе обобщенной структуры системы с цифровой обработкой сигналов.

## 5.2. Промежуточная аттестация

### Вопросы к зачету

1. Особенности, достоинства и области использования ЦОС. Технические средства и программное обеспечение систем с ЦОС.
2. Обобщенная структура радиосистемы с цифровой обработкой информации. Разновидности РЭС с ЦОС.
3. Классификация сигналов и типовые процедуры ЦОС.
4. Дискретизация непрерывных сигналов. Примеры естественной и искусственной дискретизации.
5. Типовые дискретные последовательности (ДП). Модуль, аргумент, энергия и мощность ДП.
6. Ортогональность и комплексная сопряженность ДП. Векторное отображение ДП.
7. Представление типовых непрерывных и дискретных сигналов в  $r$ -плоскости.
8. Спектр дискретизированного сигнала.
9. Эффект наложения спектров при дискретизации.
10. Сущность и свойства  $Z$ -преобразования.  $Z$ -преобразования типовых сигналов.
11. Влияние эффекта дискретизации на положение нулей и полюсов в  $r$ - и  $Z$ -плоскостях.
12. Взаимосвязь отображений сигналов в  $r$ - и  $Z$ -плоскостях. Показать на примерах ДП.
13. Вычисление обратного  $Z$ -преобразования (пояснить на примерах).
14. Определение ДПФ и ОДПФ. Особенности оператора  $W$ . Влияние размерности массива данных  $N$  на характер спектра ДПФ.
15. Матричная и векторная форма ДПФ и ОДПФ. Связь ДПФ и  $Z$ -преобразования.
16. Организация вычислительного процесса ДПФ. Оценка вычислительных затрат.
17. Особенности спектров дискретизированных сигналов.
18. Сопоставление спектров непрерывных и дискретных сигналов и спектра ДПФ.
19. Разновидности спектров ДПФ и их особенности.
20. Организация БПФВ при произвольном  $N$ .
21. Перестановка входных данных при БПФВ. Блок-схема алгоритма.
22. Организация БПФЧ при произвольном  $N$ .
23. Сравнение вычислительных затрат при ДПФ и БПФ.
24. Способы отображения периодической свертки. Пример вычисления ПС при заданном  $N$ .
25. Вычисление периодической свертки с помощью ДПФ (показать на примере).
26. Определение и пример вычисления линейной свертки.
27. Вычисление линейной свертки при помощи периодической.
28. Сравнение (на примере) линейной и периодической сверток.  $2N$ - точечные свертки.
29. Вычисление сверток с помощью  $Z$ - преобразования.
30. Автокорреляционная функция и энергетический спектр дискретной последовательности. Связь спектров и корреляции сигналов.

31. Взаимная корреляционная функция и энергетический спектр двух дискретных последовательностей. Связь спектров и корреляций сигналов.
32. Квантования сигналов по уровню. Ошибки квантования.
33. Сопоставление дискретных и непрерывных линейных систем фильтрации.
34. Алгоритм функционирования и свойства линейных дискретных фильтров (ДЛФ) и их соединения. Основные структуры ДЛФ и их соединения.
35. Нерекурсивные фильтры. Описывающие уравнения и основные характеристики (СФ, ЧХ, ДПХ).
36. Анализ НФ1-го порядка. Характеристики НФ1.
37. НФ1 - дискретный дифференциатор.
38. НФ1- режекторный фильтр.
39. НФ 2-го порядка. Характеристики НФ2.
40. Алгоритм и коэффициенты передачи рекурсивного фильтра (РФ).
41. РФ 1-го порядка и его характеристики.
42. РФ1 - дискретный интегратор.
43. РФ 2-го порядка и его характеристики.
44. Структура ЦФ на основе микро-ЭВМ. Погрешности ЦФ.
45. Потенциальные возможности цифровых фильтров. Предельное быстродействие и пути его повышения.
46. Представление радиосигналов в виде квадратурных составляющих и выбор частоты дискретизации.
47. Структура радиоприемного устройства с цифровой обработкой сигналов ( на основе квадратурных каналов ).
48. Основные применения гомоморфной обработки и их особенности.
49. Цифровые устройства распознавания двумерных образов.
50. Реализация радиосистем различного назначения (связных, радиолокационных, радионавигационных) на основе обобщенной структуры системы с цифровой обработкой сигналов.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося

**Задания для СРС** (Подготовить развернутые сообщения по следующим вопросам)

1. Статистическое описание дискретных случайных процессов. Числовые характеристики.
2. Квантование случайных процессов. Выбор шага квантования.
3. Процедуры восстановления дискретизированной информации. Оценка качества восстановления.
4. Восстановление дискретизированной информации рядом Котельникова.
5. Кусочно-постоянная и кусочно-линейная аппроксимации при восстановлении дискретизированных сигналов.
6. Дискретизация и восстановление случайных процессов. Выбор длительности дискретизирующего импульса.
7. Проектирование ЦФ с использованием весовых «окон». Требования к «окном».
8. Проектирование ЦФ методом частотной выборки.
9. Метод инвариантности при проектировании ЦФ.
10. Методы билинейного преобразования при проектировании ЦФ.
11. Гомоморфная фильтрация мультипликативных и свернутых сигналов. Кепстры.
12. Адаптивные цифровые фильтры и компенсаторы помех.
13. Проблемы дискретизации и квантования сигналов при цифровом радиоприеме.
14. Анализ спектра на основе ДПФ. АЧХ «гребенки» фильтров
15. Роль «окон» при спектральном анализе. Эффект «растекания» спектра и «маскировки». Этапы спектрального анализа.
16. Обобщенная схема цифрового спектроанализатора «скачущее » БПФ.
17. Схема анализатора спектра на основе «гребенки» фильтров.
18. Устройства обработки многолучевых сигналов на основе анализатора кепстров.
19. Цифровое распознавание сигналов. Критерии, алгоритмы, структура систем распознавания.
20. Цифровые устройства первичной обработки радиолокационной информации.

21. Цифровые устройства вторичной обработки радиолокационной информации.
22. Цифровая обработка биоэлектрических сигналов.
23. Структура цифрового комплекса биомедицинских исследований.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
Основная литература		
Дискретная математика: Практическая дискретная математика и математическая логика: учеб. пособие / С.Ф. Тюрин, Ю.А. Аляев. - М.: Финансы и статистика. 2012	2012	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=485126">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=485126</a>
Дискретная математика для программистов / Хаггарти Р. -Издание 2-е, исправленное. - М. : Техносфера. 2012.	2012	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=254951">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=254951</a>
Дискретная математика. Теория и практика решения задач по информатике: учебное пособие / Окулов С. М. - 3-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. 2015	2015	<a href="http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&amp;p/1_id=2840">http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&amp;p/1_id=2840</a>
Дополнительная литература		
Дискретная математика. Задачи и упражнения с решениями: Учебно-методическое пособие / А.А. Вороненко, В.С. Федорова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 104 с. ISBN 978-5-16-006601-1	2014	<a href="http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&amp;p/1_id=1351">http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&amp;p/1_id=1351</a>
Лекции по дискретной математике: Учебное пособие / В.Б. Алексеев. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 90 с.	2013	<a href="http://www.iprbooksshop.ru/18465.html">http://www.iprbooksshop.ru/18465.html</a>
Дискретная математика / Редькин Н.П. - М. : ФИЗМАТЛИТ.2009	2009	<a href="http://www.iprbooksshop.ru/21458.html">http://www.iprbooksshop.ru/21458.html</a>

### 6.2. Периодические издания

Радиотехника:  
Радиотехника и электроника;  
Приборы и техника эксперимента;  
Цифровая обработка сигналов.

### 6.3. Интернет-ресурсы

<https://znanium.com>  
<http://window.edu.ru>  
<https://hub.exponenta.ru/>  
<https://e.lanbook.com/>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения: лекций и практических занятий – ауд 301-3 и 335-3 с мультимедийными средствами; практических и лабораторных работ - компьютерные классы 228-3 и 410-3 с использованием лицензионного программного обеспечения Matlab/Simulink и Multisim.



Рабочую программу составил Казаринов А.Б, ст.преподаватель кафедры РТ и РС



Рецензент

ОАО «Владимирское КБ радиосвязи», Генеральный директор, А.Е.Богданов



Программа одобрена на заседании каф. РТ и РС

Протокол № 1 от 31.08.20

Заведующий кафедрой РТ и РС Никитин О.Р. 

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Протокол № 1 от 4.09.20 года

Председатель комиссии Никитин О.Р, зав. каф. РТ и РС 

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 21/22 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.21 года

Заведующий кафедрой  О.Р. Никитин

Рабочая программа одобрена на 22/23 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 29.08.22 года

Заведующий кафедрой  О.Р. Никитин

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_