

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  
Проректор  
по образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 25 » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ПОТОКОВ»**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Профиль/программа подготовки Высокопроизводительные и распределенные вычисления

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения Очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. за- нятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной ат- тестации (экзамен/зачет/зачет с оцен- кой)
6	3/ 108	36	18	18	36	зачет
Итого	3/ 108	36	18	18	36	зачет

Владимир, 2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Цифровая обработка сигналов и потоков» является изучение студентами основных принципов и алгоритмов цифровой обработки сигналов, используемых в вычислительных и телекоммуникационных системах и сетях.

Задачи:

- Изучение математических методов описания цифровых сигналов и систем и их характеристик;
- изучение основных структур цифровых устройств и способов их построения;
- овладение навыками анализа характеристик цифровых сигналов и систем в пакете Matlab.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов и потоков» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений - дисциплины по выбору.

Пререквизиты дисциплины: дисциплина «Цифровая обработка сигналов и потоков» опирается на результаты обучения дисциплин «Дискретная математика и математическая логика», «Электроника и схемотехника».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ПК-2 Способен осуществлять концептуальное, функциональное и логическое проектирование систем среднего и крупного масштаба и сложности	Частичное	Знать Математический аппарат для описания цифровых сигналов и систем: Z- преобразование, дискретное преобразование Фурье, разностные уравнения, математические модели дискретных и цифровых фильтров, структуры и характеристики цифровых фильтров. Уметь применять основные алгоритмы цифровой обработки сигналов в задачах обработки аудио-, видео- информации, при разработке устройств вычислительных и информационных сетей. Владеть математическим аппаратом анализа цифровых сигналов и систем; средствами автоматизированного проектирования цифровых устройств.



#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Цифровые сигналы, потоки и их характеристики								
1.1	Цифровые сигналы и их характеристики	6	1-2	4	2	4	4	2/20	
2	Математический аппарат ЦОС								
2.1	Z-преобразование и преобразования Фурье	6	3	2			2		
2.2	Дискретное преобразование Фурье	6	4	2	2		2	1/25	
3	Дискретные системы								
3.1	Дискретные системы:	6	5	2			2		
3.2	Нерекурсивная и рекурсивная цифровая фильтрация:	6	6-8	6	4	8	6	4/22,2	Рейтинг контроль 1
3.3	Восходящие и нисходящие дискретные системы.	6	9	2			2		
4	Цифровые устройства								
4.1	Эффекты квантования в цифровых системах	6	10-11	4	2		4	2/33,3	
4.2	Синтез цифровых фильтров	6	12-13	4	2	6	4	3/25	Рейтинг контроль 2
4.3	Цифровые сигнальные процессоры	6	14	2	2		2	1/20	
4.4	Методы ЦОС	6	15-16	4	2		4	2/33,3	
4.5	Реализация алгоритмов типовых устройств ЦОС на ЦСП	6	17-18	4	2		4	2/33,3	Рейтинг контроль 3
Всего за 6 семестр:				36	18	18	36	17/23,6	Зачет
Наличие в дисциплине КП/КР									нет
Итого по дисциплине			108	36	18	18	36	17/23,6	Зачет

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1 Цифровые сигналы, потоки и их характеристики  
Тема 1 Цифровые сигналы, потоки и их характеристики

Содержание темы. Аналоговые и цифровые сигналы, потоки, спектр сигналов, теорема Котельникова, аналого- цифровое и цифро- аналоговое преобразование.

## Раздел 2 Математический аппарат ЦОС

### Тема 1 Z-преобразование и преобразования Фурье

Содержание темы. Прямое и обратное Z- преобразование, преобразование Фурье, связь Z- преобразования и преобразования Фурье. Дискретная свертка.

### Тема 2 Дискретное преобразование Фурье

Содержание темы. ДПФ, свойства ДПФ. Алгоритмы БПФ

## Раздел 3 Дискретные системы

### Тема 1 Нерекурсивная и рекурсивная цифровая фильтрация

Содержание темы. Дискретный фильтр: разностное уравнение, коэффициенты фильтра, рекурсивный и нерекурсивный фильтры, передаточная функция ЦФ. Преобразование передаточной характеристики фильтра. Формы реализации ЦФ. Структуры фильтров. Импульсная и переходная характеристики фильтра. Устойчивость фильтра.

### Тема 2 Восходящие и нисходящие дискретные системы.

Содержание темы. Структура восходящей и нисходящей систем. Спектры сигналов на выходе экспандера и компрессора частоты дискретизации. Реализация восходящих и нисходящих систем.

## Раздел 4 Цифровые устройства

### Тема 1 Эффекты квантования в цифровых системах

Содержание темы. Квантование коэффициентов фильтра. Расчет разрядности входных и выходных данных и коэффициентов фильтра.

### Тема 2 Синтез цифровых фильтров

Содержание темы. Методы синтеза рекурсивных и нерекурсивных фильтров. Алгоритм расчета коэффициентов фильтра.

### Тема 3 Цифровые сигнальные процессоры

Содержание темы. Структура, характеристики цифровых сигнальных процессоров.

### Тема 4 Методы ЦОС

Содержание темы. Перенос спектра. Инверсия спектра. Генератор цифровых сигналов.

### Тема 5 Реализация алгоритмов типовых устройств ЦОС на ЦСП

Содержание темы. Примеры реализации алгоритмов ЦОС.

## Содержание практических занятий по дисциплине

### Раздел 1 Цифровые сигналы и их характеристики

Практическое занятие 1. Определение параметров дискретного сигнала по характеристикам аналогового сигнала.

### Раздел 2 Математический аппарат ЦОС

Практическое занятие 2. Расчет спектров непериодических и периодических сигналов.

Практическое занятие 3. Рейтинг- контроль №1.

### Раздел 3 Дискретные системы

Практическое занятие 4. Построение структурных схем фильтров

### Раздел 4 Цифровые устройства

Практическое занятие 5. Преобразование структурных схем фильтров, заданных передаточной функцией.

Практическое занятие 6. Рейтинг- контроль №2.

Практическое занятие 7. Сравнение рекурсивных и нерекурсивных фильтров.

Практическое занятие 6. Расчет разрядностей характеристик цифровых фильтров.

Практическое занятие 9. Рейтинг- контроль №3.

## Содержание лабораторных занятий по дисциплине

### Раздел 1 Цифровые сигналы и их характеристики



Лабораторная работа 1. Дискретные сигналы и их описание во временной области

Раздел 2 **Математический аппарат ЦОС**

Лабораторная работа 2. Спектральная обработка сигналов.

Раздел 3 **Дискретные системы**

Лабораторная работа 3. Проектирование цифровых фильтров

Раздел 4 **Цифровые устройства**

Лабораторная работа 4. Цифровой генератор гармонических сигналов.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «Цифровая обработка сигналов и потоков» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

– интерактивная лекция (темы № 1.1, 2.2, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5).

–

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

Текущий контроль успеваемости

Рейтинг-контроль 1

Контрольные вопросы

1. Прямое и обратное Z-преобразование.
2. Преобразование Фурье.
3. Связь Z- преобразования и преобразования Фурье.
4. Понятие прямого и инверсного спектра.
5. Дискретное преобразование Фурье.
6. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье.
7. Сравнение ДПФ и БПФ.
8. Круговая свертка. Применение круговой свертки.
9. Линейная свертка. Вычисление линейной свертки.
10. Линейные дискретные фильтры. (Определение)
11. Цифровые фильтры. (Определение)
12. Рекурсивные фильтры. (Разностные уравнения и передаточные функции)
13. Нерекурсивные фильтры. (Разностные уравнения и передаточные функции)
14. Соединение фильтров.
15. Формы реализации фильтров.

Рейтинг-контроль 2

Контрольные вопросы

1. Понятие восходящих дискретных систем.
2. Понятие нисходящих дискретных систем.
3. Спектр на выходе компрессора частоты дискретизации.

4. Спектр на выходе экспандера частоты дискретизации.
5. Кодирование чисел, арифметические операции с фиксированной точкой.
6. Масштабирование и оценка точности при вычислениях.
7. Квантование сигналов в ЦФ. Оценка шумов квантования.
8. Расчет разрядности коэффициентов фильтра и регистров оперативной памяти
9. Оптимизация разрядности коэффициентов ЦФ.
10. Расчет разрядности при реализации фильтра на специализированном микропроцессоре.
11. Перенос спектра.
12. Инверсия спектра.
13. Формирование сигнала с одной боковой полосой.
14. Увеличение и уменьшение частоты дискретизации.
15. Функции Уолша и их свойства.

Рейтинг-контроль 3

Контрольные вопросы

1. Нарисовать структурную схему фильтра, заданную передаточной функцией

а)  $H1(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3} + b_4 z^{-4}$

б)  $H2(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3} + b_4 z^{-4}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3} + a_4 z^{-4}}$

в)  $H3(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} + \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} + k$

г)  $H4(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} * \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$

д)  $H5(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} * k$

е)  $H6(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} + b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}$

2. Записать частотную характеристику фильтра, заданную передаточной функцией из задания 1.

3. Определить тип импульсной характеристики фильтра и найти отсчеты импульсной характеристики фильтра, заданной передаточной функцией

а)  $H1(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3} + b_4 z^{-4}$

б)  $H2(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1}}$

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (зачет)

Контрольные вопросы

1. Прямое и обратное Z-преобразование.- Формулы, свойство, использование
2. Преобразование Фурье.- формула, физический смысл, свойства спектров
3. Связь Z- преобразования и преобразования Фурье.
4. Понятие прямого и инверсного спектра.- определение



5. Дискретное преобразование Фурье.- формула, свойства, физический смысл,
6. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье. Формулы, принцип, классификация
7. Сравнение ДПФ и БПФ.
8. Линейные дискретные и цифровые фильтры.
9. Рекурсивные фильтры. (Разностные уравнения и передаточные функции)
10. Нерекурсивные фильтры. (Разностные уравнения и передаточные функции)
11. Соединение фильтров.
12. Формы реализации фильтров.
13. Восходящие дискретные системы.
14. Нисходящие дискретные системы.
15. Спектр на выходе компрессора частоты дискретизации.
16. Спектр на выходе экспандера частоты дискретизации.
17. Масштабирование и квантование коэффициентов фильтра.
18. Оптимизация разрядности коэффициентов ЦФ.
19. Перенос спектра.
20. Инверсия спектра.
21. Формирование сигнала с одной боковой полосой.
22. Увеличение и уменьшение частоты дискретизации.
23. Классификация сигналов
24. Описание сигналов во временной и спектральной областях
25. Теорема Котельникова
26. Связь спектров (аналогового сигнала и дискретного), (дискретного непериодического и периодического той же формы).
27. Разностное уравнение цифровых фильтров.
28. Передаточная функция и способы ее представления.
29. Структуры фильтров
30. Характеристики фильтров – импульсная, частотные, характеристики реализации, устойчивость фильтров

### **Самостоятельная работа студентов**

Задания для самостоятельной работы студентов

1. Ознакомиться с алгоритмами цифровой обработки сигналов.
2. Выбрать и обосновать параметры алгоритма ЦОС (математической модели системы).
3. Реализовать алгоритм ЦОС в системе Matlab или САПР ADS.
4. Разработать программу исследований и провести анализ алгоритма.

Алгоритмы ЦОС:

1. Исследование системы цифровой фильтрации (ФНЧ с относительной полосой пропускания 0,01).
2. Исследование гребенчатого фильтра.
3. Исследование форм реализации рекурсивных цифровых фильтров.
4. Исследование форм реализации нерекурсивных цифровых фильтров.
5. Исследование восходящих дискретных систем.
6. Исследование нисходящих дискретных систем.

7. Сравнительная характеристика рекурсивных и нерекурсивных фильтров.
8. Исследование шумов квантования АЦП.
9. Исследование характеристик сигналов при квантовании коэффициентов фильтра.
10. Исследование явлений округления промежуточных результатов и переполнения разрядной сетки.
11. Цифровые методы спектрального анализа – метод периодограмм.
12. Цифровые методы спектрального – методы, основанные на линейном моделировании.
13. Алгоритмы вычисления БПФ с прореживанием по времени.
14. Алгоритмы вычисления БПФ с прореживанием по частоте.

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

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
<b>Основная литература</b>			
1. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс]/ В.И. Гадзиковский – М.: СОЛОН –ПРЕСС, 2016	2018		<a href="http://www.studentlibrary.ru">www.studentlibrary.ru</a>
2. Цифровые устройства [Электронный ресурс]: учеб. Пособие для вузов/ Г.И. Пухальский, Т.Я. Новосельцева. – СПб.: Политехника, 2012	2019		<a href="http://www.studentlibrary.ru">www.studentlibrary.ru</a>
3. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения. Под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. - М.: Физматлит, 2016. – 240 с.	2016		<a href="http://www.studentlibrary.ru">www.studentlibrary.ru</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
1. Курс лекций по дисциплине "Цифровая обработка сигналов".— Владимир : ВлГУ, 2016 .— 142 с.	2008	5	



2. Калыгин, Г. О. Цифровой генератор сигналов / Г. О. Калыгин. — Молодой ученый. — 2020. — № 32 (322).	2020		<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
3. Алгоритмические основы совмещения изображений различной физической природы: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.И. Новиков, А.И. Ефимов. – Рязань, 2016. – 28 с.	2016		<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>

### 7.2. Периодические издания

Журналы (<https://elibrary.ru/>):

1. Вестник компьютерных и информационных технологий
2. Вычислительные технологии
3. Известия вузов: электроника
4. Радиотехнические и телекоммуникационные системы

### 7.3. Интернет-ресурсы

1. Электронная библиотека <http://www.citforum.ru>
2. Электронная энциклопедия <http://wikipedia.org>
3. Научная библиотека ВлГУ <http://library.vlsu.ru>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Лабораторные работы проводятся в «учебно-исследовательской лаборатории центра микроэлектронного проектирования и обучения».

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: система Matlab.

Рабочую программу составил доцент кафедры ВТ и СУ Калыгина Л.А.

(ФИО, подпись)



Рецензент

(представитель работодателя) Генеральный директор ООО «Диagramma» Протягов И.В.



(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ВТ и СУ

Протокол № 6 от 25.02.21 года

Заведующий кафедрой



Ланцов В.Н.

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 09.03.01

Протокол № 2 от 25.02.21 года

Председатель комиссии



Ланцов В

(ФИО, подпись)