

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Институт электронных и информационных систем

Кафедра радиосистем



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭИС

С.И. Эминов

«25» 12 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
Учебной дисциплины  
**Цифровая обработка сигналов**  
по направлению подготовки

11.03.01 Радиотехника

Направленность (профиль) Аппаратно-программные средства радиотехнических систем

11.03.01 Радиотехника

Направленность (профиль) Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора ИЭИС

Ариас Е.А.Ариас

«25» 12 2020 г.

Разработал

Доцент кафедры радиосистем

Жукова И.Н.Жукова

«16» 11 2020 г.

Принято на заседании кафедры РС  
Протокол №156 от «26» 11 2020 г.

Заведующий кафедрой РС

Жукова И. Н. Жукова

«26» ноября 2020 г.

## 1 Цели и задачи учебной дисциплины

Целью дисциплины является изучение теоретических основ цифровой обработки сигналов и современных средств компьютерного моделирования базовых методов и алгоритмов ЦОС.

Для достижения поставленной цели при освоении дисциплины решаются следующих задач:

- изучаются методы описания и анализа дискретных и цифровых сигналов и дискретных линейных систем с постоянными параметрами;
- изучаются методы проектирования цифровых фильтров и спектрального анализа;
- формируются навыки компьютерного моделирования алгоритмов ЦОС.

## 2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к формируемой участниками образовательных отношений части учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.03.01 Радиотехника, направленность (профиль) Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов.

В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин (модулей, практик): «Математики», «Физика». Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения следующих дисциплин (модулей, практик): «Радиотехнические системы», «Пакеты математического моделирования», «Математический аппарат радиотехники», «Схемотехника цифровая», а также при выполнении индивидуального задания производственной практики и выпускной квалификационной работы.

## 3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

ПК-1 Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ;

ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.

Таблица 1- Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
	Знать	Уметь	Владеть
ПК-1 Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ		Умеет строить физические и математические модели узлов и блоков радиотехнических устройств и систем	Владеет навыками компьютерного моделирования
ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и	Знает принципы конструирования отдельных деталей, узлов и	Умеет проводить оценочные расчеты характеристик деталей, узлов и	Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных

устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	устройств радиотехнических систем	устройств радиотехнических систем	электрических схем
---	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------

#### 4 Структура и содержание учебной дисциплины

##### 4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

##### 4.1.1 Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Полная трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения представлена в таблице 2:

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины

Части учебной дисциплины	Всего	Распределение по семестрам
		5 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	3
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	70	70
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	110	110
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	36	экзамен

##### 4.2 Содержание учебной дисциплины

- 1 Введение. Основные понятия. Область применения. Элементная база ЦОС.
- 2 Теория дискретных систем
- 3 Цифровая фильтрация
- 4 Основы спектрального анализа

##### 4.3. Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Трудоемкость освоения отдельных разделов и тем учебной дисциплины представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Трудоемкость разделов

№	Наименование разделов учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КЛ/КР	Контактная работа (в АЧ)					Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС	ЭКЗ.		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР				
1	Введение. Основные понятия. Область применения. Элементная база ЦОС	7		10	3		27	Опрос
2	Теория дискретных систем	7		10	3		28	Опрос, Лаб.раб.
3	Цифровая фильтрация	7		12	3		27	Опрос, Лаб.раб.
4	Основы спектрального анализа	7		10	3		28	Опрос, Лаб.раб.
	Промежуточная аттестация					36		Экзамен
	<b>ИТОГО</b>	28	-	42	12	36	110	

#### 4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

##### 4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

1 Знакомство со средой графической разработки Labview и лабораторной платформой NI Elvis.

2 Исследование эффектов дискретизации и квантования сигналов

3 Знакомство со средой инженерных вычислений Matlab

4 Преобразование сигналов и их взаимосвязь

5 Проектирование и анализ цифровых фильтров

6 Цифровой спектральный анализ

##### 4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

#### 5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1	Введение. Основные понятия. Область применения. Элементарная база ЦОС (информационная лекция)	7
2	Теория дискретных систем (информационная лекция)	7
3	Цифровая фильтрация (информационная лекция)	7
4	Основы спектрального анализа (информационная лекция)	7
	ИТОГО	28

Лекционные занятия проводятся с применением демонстрационного материала в компьютерном классе с мультимедийным оборудованием и компьютерами.

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации лабораторных работ

№	Темы лабораторных работ (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1	Средства разработки. Сравнительная характеристика аналоговых и цифровых систем обработки (опрос, выполнение и защита ЛР)	10
2	Понятие и способы описания дискретных и цифровых сигналов. Линейные системы с постоянными параметрами (ЛПП). Свертка дискретных сигналов. Методы быстрой свертки. Разностные уравнения. Z-преобразование. Преобразование Фурье. Дискретное преобразование Фурье (опрос, выполнение и защита ЛР)	10
3	Основные понятия. Классификация цифровых фильтров. Структурные схемы фильтров. Фильтры скользящего среднего. Фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ): общая характеристика, линейность фазовой характеристики, методы проектирования, сравнительная характеристика методов. Фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ): линейность фазовой характеристики, всепропускающие фильтры, методы проектирования. Частотные преобразования при проектировании фильтров. Сравнение КИХ и БИХ фильтров. Фильтры, изменяющие частоту дискретизации (опрос, выполнение и защита ЛР)	12
4	Понятие спектрального анализа, применение. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ): Кули-Тьюки с прореживанием по частоте, по	10

времени. Единый подход к БПФ. Сравнение БПФ и гребенки фильтров. Взвешивание при спектральном анализе. Основные характеристики оценивания спектральной плотности мощности (СПМ) Непараметрические методы оценивания СПМ: периодограммный и коррелограммный. Обзор параметрических методов оценки СПМ (опрос, выполнение и защита ЛР)	
ИТОГО	42

**Практические занятия** проводятся в компьютерном классе с мультимедийным оборудованием и компьютерами

**Самостоятельная работа студентов** (аудиторная и внеаудиторная) осуществляется с применением компьютеров с выходом в сеть «Интернет» для изучения рекомендованных ресурсов и самостоятельного поиска информации.

## 6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в Приложении А.

## 7 Условия освоения учебной дисциплины

### 7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины представлено в Приложении Б.

### 7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению	Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения	
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	Учебная мебель: столы, стулья, доска Компьютерный класс	
2.	Мультимедийное оборудование	ПК Intel Celeron G530 CPU 2,4 GHz, проектор Монитор ViewSonic VA1932wa, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет – 9 шт	
3.	Программное обеспечение		
	Наименование программного продукта	Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи
	Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard <i>Только для осеннего семестра</i>	Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	19.12.2018
	ABBYY FineReader PDF 15 Business. Версия для скачивания (годовая лицензия с академической скидкой)* <i>Только для осеннего семестра</i>	Договор №191/Ю	16.11.2020
	Zbrush Academic Volume License	Договор №209/ЕП(У)20-ВБ	30.11.2020
	Academic VMware Workstation 16 Pro for Linux and Windows, ESD	Договор №211/ЕП(У)20-ВБ, 25140763	03.11.2020
	Acronis Защита Данных для рабочей станции, Acronis Защита Данных. Расширенная для физического сервера	Договор №210/ЕП (У)20-ВБ, Ах000369127	03.11.2020
	Антиплагиат. Вуз.*	Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
	Подписка Microsoft Office 365	свободно распространяемое для вузов	-
	Adobe Acrobat	свободно распространяемое	-
	Teams	свободно распространяемое	-
	Skype	свободно распространяемое	-
	Zoom	свободно распространяемое	-

Программное обеспечение для графического программирования LabVIEW 2012 и NI Multisim 12	Накладная №33, лицензия № M77X11187.	04.10.2016
Matlab R2011b	лицензия номер 703114	2011
GNU Octave	свободно распространяемое	

Приложение А  
(обязательное)  
**Фонд оценочных средств**  
**учебной дисциплины «Цифровая обработка сигналов»**

**1. Структура фонда оценочных средств**

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

**2. Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации**

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1	Опрос	1÷4	100	ПК-1, ПК-3,
2	Лабораторные работы	1÷4	150	
<i>Промежуточная аттестации</i>				
	ЭКЗАМЕН		50	ПК-1, ПК-3,
	<b>ИТОГО</b>		<b>300</b>	

**3. Рекомендации к использованию оценочных средств**

Таблица А.2 - Контрольный опрос

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество во вопросов
демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала	По числу обучающихся	2
допускает неточности при ответе на теоретические вопросы		
испытывает трудности при ответе на теоретические вопросы		

Примерный список вопросов:

- 1 Знакомство со средой MatLab.
  - a) Назначение и состав.
  - b) Окна. Окно команд, окно рабочего пространства.
  - c) Математические операции в окне команд.
  - d) Графические операции.
- 2 Программирование в среде MatLab
  - a. Язык m-скриптов. Создание m-файлов.
  - b. Создание и вызов функций и подфункций.

- c. Программирование ветвящихся и циклических процессов
- d. Средства отладки m-скриптов.

- 3 Разностные уравнения
  - a. Разностные уравнения первого порядка
  - b. Расчёт выходного сигнала
  - c. Импульсная и переходная характеристики

- 4 Разностные уравнения второго порядка
  - a. Разностные уравнения второго порядка
  - b. Условия существования цифрового резонатора:

$$h(n) = \begin{cases} \alpha_1 P_1^n + \alpha_2 P_2^n, & \text{если } \alpha_2 > -0,25 \cdot \alpha_1^2 \text{ (I)} \\ \alpha_1 r^n \cdot \sin(bn + \varphi), & \text{если } \alpha_2 > -0,25 \cdot \alpha_1^2 \text{ (II)} \end{cases}$$

$$r = \sqrt{-\alpha_2} ; b = \arccos\left(\frac{\alpha_1}{2r}\right)$$

- c. Частотная характеристика цифрового резонатора

- 5 Моделирование в графической среде Simulink MatLab
  - a. Знакомство со средой имитационного моделирования. Библиотечные компоненты моделирования дискретных и цифровых устройств
  - b. Создание моделей, симуляция и их отладка
  - c. Создание библиотек, обмен данными с рабочим пространством Matlab. Создание форм управления.

Таблица А.3 – Лабораторные работы

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>
способен правильно проанализировать нужные материалы и правильно их применить	По числу обучающихся
способен правильно проанализировать нужные материалы, но допускает некритические ошибки в их использовании	
не всегда адекватно анализирует материалы для решения задач и (или) использует их с ошибками	

Перед выполнением задания по лабораторной работе рекомендуется изучить соответствующую тему лекционного курса.

Объект исследования – реализованные на компьютере математические модели радиосигналов и радиотехнических цепей.

Используемое оборудование: компьютер.

В ходе выполнения лабораторной работы рекомендуется делать screen shot и оформлять отчет в электронном виде.

Требования к оформлению отчета по лабораторной работе:

Содержание отчета:

1. Титульный лист
2. Цель работы.

3. Графики, отражающие результаты проведенных исследований.
4. Анализ и обоснование полученных результатов (выводы).

**Дополнительные вопросы к лабораторной работе:**

1. Алгоритмы быстрой свертки на основе теоретико-числовых преобразований (алгоритмы Агарвала-Кули, Кука-Тоома)
2. Сущность алгоритма БПФ Ш. Винограда. Его эффективность и значение.
3. Алгоритм Герцеля
4. Преобразование Гильберта для дискретных сигналов
5. Полуполосные фильтры

Таблица А.4 - Экзамен

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала	По числу учащихся	2
допускает неточности при ответе на теоретические вопросы		
испытывает трудности при ответе на теоретические вопросы		

Пример экзаменационного билета

**Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого**

Кафедра радиосистем

**Экзаменационный билет № 5**

Дисциплина **Цифровая обработка сигналов**

Для направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника

1. Преобразование Фурье для дискретных сигналов. Свойства ПФ для дискретных сигналов.
2. Процедура проектирования оптимальных фильтров.

Принято на заседании кафедры РС « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Протокол № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ Заведующий кафедрой РС \_\_\_\_\_

**Вопросы для экзамена**

1. Основные области применения ЦОС. Основные теоретические направления ЦОС
2. Элементная база ЦОС. Сравнительная характеристика цифровой и аналоговой обработки
3. Линейные системы с постоянными параметрами (ЛПП). Физическая реализуемость ЛПП.
4. Разностные уравнения. Частотная характеристика ЛПП.
5. Преобразование Фурье для дискретных сигналов. Свойства ПФ для дискретных сигналов.
6. Соотношение между ПФ дискретных и непрерывных сигналов. Эффект наложения спектров.
7. Z-преобразование. Основные свойства Z-преобразования.
8. Обратное Z-преобразование. Одностороннее Z-преобразование.
9. Дискретное преобразование Фурье. Связь Z-преобразования и ДПФ
10. Связь ДПФ и ПФ. Дополнение нулями
11. Основные свойства ДПФ.
12. Свертка последовательностей. Циклическая и линейная свертка.

13. Быстрая свертка на основе БПФ
14. Секционированные свертки
15. Цифровые фильтры. Классификация.
16. Структурные схемы рекурсивных фильтров
17. Структурные схемы нерекурсивных ЦФ. Фильтры с частотной выборкой.
18. Лестничные (решетчатые) фильтры
19. Фильтры скользящего среднего.
20. Общая характеристика КИХ-фильтров
21. Виды КИХ-фильтров с линейной фазой. Особенности импульсной и частотной характеристики КИХ-фильтров
22. Проектирование КИХ-фильтров методом взвешивания
23. Основные виды оконных функций и связь их характеристик с характеристиками фильтров
24. Весовые функции окон и их ЧХ
25. Проектирование методом частотной выборки
26. Проектирование оптимальных КИХ-фильтров. Теорема Чебышева
27. Процедура проектирования оптимальных фильтров.
28. Свойства оптимальных ФНЧ. Сравнение КИХ ФНЧ, спроектированных разными методами
29. БИХ-фильтры с линейной ФЧХ
30. Все пропускающие фильтры
31. Классификация методов расчета БИХ-фильтров
32. Расчет ЦФ по фильтрам непрерывного времени
33. Метод билинейного преобразования
34. Частотные преобразования
35. Сравнение КИХ и БИХ-фильтров
36. Фильтры, изменяющие частоту дискретизации
37. Спектральный анализ. Алгоритм БПФ с прореживанием по времени
38. Свойства алгоритма БПФ по основанию 2
39. Единый подход к алгоритмам БПФ. Алгоритмы БПФ по основанию 4 и по смешанному основанию.
40. Рекуррентный метод спектрального анализа. Реализация анализатора спектра в виде гребенки фильтров. Сравнение гребенки фильтров с БПФ.
41. Использование «окон» при спектральном анализе. Стратегия выбора «окна».
42. Характеристики оценок спектральной плотности мощности.
43. Классические (непараметрические) методы оценки спектральной плотности мощности.

Приложение Б  
(обязательное)  
Карта учебно-методического обеспечения  
Учебной дисциплины «Цифровая обработка сигналов»

Таблица Б.1 – Обеспечение учебной дисциплины учебными изданиями

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов. – Санкт Петербург : Питер, 2003. - 603с. : ил. - (Учебник для вузов). - Указ.: с. 586-603. - ISBN 5-318-00666-3 : (в пер.): 126.00. - 144.00. - 160.00.	19	
2. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / Пер. с англ. С. А. Кулешова под ред. А. Б. Сергиенко. - 2-е изд. Испр. - Москва: Техносфера, 2009. - 855, [1] с. : ил. - (Мир цифровой обработки). - Библиогр.: с. 843-852. - Прил.: с. 814-842. - Указ.: с. 853-855. - ISBN 978-5-94836-202-1. - ISBN 0-13-754920-2 : (в пер.) : 703.80	5	
3. Васильев В. П. Основы теории и расчета цифровых фильтров : учебное пособие для вузов / В. П. Васильев, Э. Л. Муро, С. М. Смольский ; под ред. С. М. Смольского. - Москва : Академия, 2007. - 271, [1] с. : ил. - (Высшее профессиональное образование, Радиоэлектроника). - ISBN 978-5-7695-2709-8 : (в пер.) : 354.42	12	
4. Воробьев С. Н. Цифровая обработка сигналов : учебник для вузов / С. Н. Воробьев. - Москва : Академия, 2013. - 317, [2] с. : ил. - (Высшее профессиональное образование, Радиоэлектроника) (Бакалавриат). - Библиогр.: с. 314-315. - Прил.: с. 302-307. - ISBN 978-5-7695-9560-8 : (в пер.) : 803.00, 1000 экз.	2	
Электронные ресурсы		
Выпускная квалификационная работа бакалавра по направлению «Радиотехника» : методические указания / сост.: С. А. Гурьянов, В. А. Исаев, В. М. Реганов; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2013. – 58 с. Режим доступа: <a href="https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1638">https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1638</a>		<a href="https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1638">https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1638</a>
Библиотека по естественным наукам (БЕН) РАН	<a href="http://www.benran.ru/">http://www.benran.ru/</a>	
Государственная публичная научно-техническая библиотека (ГПНТБ)	<a href="http://www.gpntb.ru/">http://www.gpntb.ru/</a>	
Портал «Теория и практика цифровой обработки сигналов»	<a href="http://www.dsplib.ru">http://www.dsplib.ru</a>	Информационный ресурс по теории ЦОС
Информационный ресурс профессора Технологического института г. Тампере Tapio Saramäki	<a href="http://www.cs.tut.fi/~ts/">http://www.cs.tut.fi/~ts/</a>	Информационный ресурс по теории ЦОС

Таблица Б.2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1.Айфичер Эммануил. Цифровая обработка сигналов = Digital signal processing : практ. подход / Пер.с англ.:И.Ю.Дорошенко и др. - 2-е изд. - Москва : Вильямс, 2004. - 989с. : ил. - Библиогр.: с. 984-986. - Указ.: с. 987-989. - На обл.: Prentice hall. - ISBN 5-8459-0710-1. - ISBN 0-201-59619-9 : (в пер.) : 694.00.	2	
2.Лайонс Ричард.Цифровая обработка сигналов = Understanding digital signal processing / Пер.с англ.под ред.А.А.Бритова. - 2-е изд. - Москва : Бинум, 2006. - 652с. : ил. - Указ.: с. 641-652. - ISBN 5-9518-0149-4. - ISBN 0-13-108989-7 : (в пер.) : 498.00.	1	
3.Гадзиковский В. И.Теоретические основы цифровой обработки сигналов. - М. : Радио и связь, 2004. - 343с. : ил. - (Цифровая обработка сигналов). - Библиогр.:с.338-339. - ISBN 5-256-01716-0 : 232.50.	20	

Заведующий кафедрой РС  Жукова И.Н.

« 26 » 11 2020 г

