

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
**Муромский институт (филиал)**  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(МИ ВлГУ)**

Кафедра *РТ*

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заместитель директора по УР  
Д.Е. Андрианов  
\_\_\_\_\_ 25.05.2021

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

*Цифровая обработка сигналов в системах связи*

**Направление подготовки**

*11.03.02 Инфокоммуникационные технологии  
и системы связи*

**Профиль подготовки**

*Системы радиосвязи и радиодоступа*

Семестр	Трудоем- кость, час./зач. ед.	Лек- ции, час.	Прак- тические занятия, час.	Лабора- торные работы, час.	Консультация, час.	Конт- роль, час.	Всего (контакт- ная работа), час.	СРС, час.	Форма промежу- точного контроля (экз., зач., зач. с оц.)
<b>6</b>	<b>108 / 3</b>	<b>16</b>		<b>16</b>	<b>1,6</b>	<b>0,25</b>	<b>33,85</b>	<b>74,15</b>	<b>Зач. с оц.</b>
<b>Итого</b>	<b>108 / 3</b>	<b>16</b>		<b>16</b>	<b>1,6</b>	<b>0,25</b>	<b>33,85</b>	<b>74,15</b>	

Муром, 2021 г.

## 1. Цель освоения дисциплины

Цель дисциплины: изучение студентами теоретических основ, принципов построения, основных характеристик и алгоритмов дискретной и цифровой обработки информационных сигналов в различных радиотехнических системах.

При изучении этой дисциплины закладываются основы знаний и практических навыков, позволяющих умело использовать современный математический аппарат для синтеза и проектирования цифровой техники обработки сигналов, понимать современное состояние, тенденции и перспективы развития методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Изучение дисциплины "Цифровая обработка сигналов" базируется на дисциплинах: "Математика", «Общая теория связи» "Дискретная математика" и является базой изучаемых студентами дисциплин "Системы радиочастотной идентификации" и "Сети и системы мобильной связи".

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-2 Способен осуществлять подготовку типовых технических проектов и первичный контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации на различные инфокоммуникационные объекты национальным и международным стандартам и техническим регламентам	ПК-2.2 Использует современные технические решения создания объектов и систем связи (телекоммуникационных систем) и ее компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение	Умеет использовать современные технические решения и программное обеспечение для создания КИХ и БИХ фильтров (ПК-2.2)	Тесты для текущего контроля знаний. Тесты для промежуточной аттестации.
ПК-1 Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ	ПК-1.3 Выявляет и анализирует преимущества и недостатки вариантов проектных решений, оценивает риски, связанные с реализацией проекта	Умеет выявлять недостатки вариантов построения КИХ и БИХ фильтров, оценивает риски, связанные с их реализацией (ПК-1.3)	Тесты для текущего контроля знаний. Тесты для промежуточной аттестации.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

##### 4.1. Форма обучения: очная

Уровень базового образования: среднее общее.

Срок обучения 4г.

##### 4.1.1. Структура дисциплины

№ п\п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником							Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации(по семестрам)
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	КП / КР	Консультация	Контроль		
1	Введение. Применение ЦОС	6	2							8	устный опрос
2	Сигналы и их описание.	6	2		4					10	устный опрос
3	Описание дискретных систем.	6	2		8					10	устный опрос
4	Свертка дискретных сигналов.	6	2							10	устный опрос
5	Основы общей теории цифровых фильтров.	6	4		4					8	устный опрос
6	Основы проектирования цифровых фильтров.	6	2							8	устный опрос
7	Заключение. Развитие теории ЦОС	6	2							20,15	устный опрос
Всего за семестр		108	16		16			1,6	0,25	74,15	Зач. с оц.
Итого		108	16		16			1,6	0,25	74,15	

##### 4.1.2. Содержание дисциплины

###### 4.1.2.1. Перечень лекций

###### Семестр 6

###### Раздел 1. Введение. Применение ЦОС

###### Лекция 1.

Введение. Виды цифровой обработки сигналов. Структурные схемы устройств с ЦОС (2 часа).

*Раздел 2. Сигналы и их описание.*

**Лекция 2.**

Сигналы и их описание. Квантование сигналов. Примеры дискретных сигналов (2 часа).

*Раздел 3. Описание дискретных систем.*

**Лекция 3.**

Дискретные системы. Прямое и обратное Z-преобразование и преобразование Фурье (2 часа).

*Раздел 4. Свертка дискретных сигналов.*

**Лекция 4.**

Свертка дискретных сигналов (2 часа).

*Раздел 5. Основы общей теории цифровых фильтров.*

**Лекция 5.**

Основы общей теории цифровых фильтров. Структурные схемы цифровых фильтров (2 часа).

**Лекция 6.**

Устойчивость и реализуемость дискретных фильтров. Критерии устойчивости (2 часа).

*Раздел 6. Основы проектирования цифровых фильтров.*

**Лекция 7.**

Методы проектирования КИХ-фильтров и БИХ-фильтров (2 часа).

*Раздел 7. Заключение. Развитие теории ЦОС*

**Лекция 8.**

Заключение. Перспективы развития теории цифровой обработки сигналов (2 часа).

#### **4.1.2.2. Перечень практических занятий**

Не планируется.

#### **4.1.2.3. Перечень лабораторных работ**

##### **Семестр 6**

*Раздел 2. Сигналы и их описание.*

**Лабораторная 1.**

Дискретизация и квантование сигналов (4 часа).

*Раздел 3. Описание дискретных систем.*

**Лабораторная 2.**

Исследование эффектов наложения спектров при дискретизации непрерывного сигналов (4 часа).

**Лабораторная 3.**

Синтез КИХ и БИХ-фильтров (4 часа).

*Раздел 5. Основы общей теории цифровых фильтров.*

**Лабораторная 4.**

Исследование алгоритмов формирования квадратурных составляющих радиосигнала (4 часа).

#### **4.1.2.4. Перечень тем и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Перечень тем, вынесенных на самостоятельное изучение:

1. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье. Свойства дискретного преобразования Фурье. Многомерное дискретное преобразование Фурье. Алгоритмы БПФ с основанием 2. Алгоритмы БПФ для произвольного основания.
2. Дискретная свертка и ее вычисление. Круговая свертка. Использование ДПФ для вычисления круговой свертки. Линейная свертка. Секционированные свертки. Методы быстрого вычисления круговой свертки. Использование теоретико-числовых преобразований.
3. Некоторые перспективные алгоритмы вычисления ДПФ. Алгоритм Винограда. Алгоритм Винограда с использованием ТЧП. Использование эффективных методов поворота вектора (КОРДИК). Специальные виды ДПФ.

4. Эффекты квантования сигналов в цифровых фильтрах. Позиционные системы счисления. Формы представления чисел в цифровых фильтрах. Фиксированная запятая. Плавающая запятая. Прямой код. Дополнительный код. Обратный код.
5. Квантование сигналов в цифровых фильтрах. Модели процесса квантования. Детерминированные оценки ошибок квантования. Вероятностные оценки ошибок квантования. Учет квантования сигналов в структурных схемах цифровых фильтров. Оценки ошибок (шумов) квантования выходного сигнала в цифровом фильтре.
6. Адаптивные дискретные и цифровые фильтры. Критерии настройки адаптивных фильтров и методы определения значений их параметров. Адаптивный фильтр-компенсатор помех. Принцип адаптивной компенсации помех. Точный алгоритм настройки нерекурсивного адаптивного фильтра по минимуму СКО. Настройка нерекурсивного адаптивного фильтра по минимуму СКО с помощью градиентного метода. Адаптивный фильтр – линейное предсказывающее устройство.
7. Цифровые методы спектрального анализа. Классификация методов. Метод периодограмм. Основные свойства оконных функций. Принципы выбора оконной функции. Методы спектрального анализа, основанные на линейном моделировании. Модели авторегрессии и скользящего среднего.
8. Восходящие и нисходящие дискретные системы. Экспандер частоты дискретизации. Компрессор частоты дискретизации. Простейшие восходящие дискретные системы. Многократные восходящие дискретные системы. Простейшие нисходящие дискретные системы. Многократные нисходящие дискретные системы.

Для самостоятельной работы используются методические указания по освоению дисциплины и издания из списка приведенной ниже основной и дополнительной литературы.

#### **4.1.2.5. Перечень тем контрольных работ, рефератов, ТР, РГР, РПР**

Не планируется.

#### **4.1.2.6. Примерный перечень тем курсовых работ (проектов)**

Не планируется.

### **5. Образовательные технологии**

В процессе изучения дисциплины «Цифровая обработка сигналов в системах связи» применяется контактная технология преподавания (за исключением самостоятельно изучаемых студентами вопросов). При проведении лабораторных работ применяется имитационный или симуляционный подход. Шаги решения задач студентам демонстрируются при помощи мультимедийной техники. В дальнейшем студенты самостоятельно решают аналогичные задания.

### **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Фонды оценочных материалов (средств) приведены в приложении.

### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

#### **7.1. Основная учебно-методическая литература по дисциплине**

1. Новиков, П. В. Цифровая обработка сигналов : учебно-методическое пособие / П. В. Новиков. — Саратов : Вузовское образование, 2018. — 75 с. — ISBN 978-5-4487-0286-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. - <http://www.iprbookshop.ru/76797.html>
2. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Умняшкин С.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2012.— 368 с. - <http://www.iprbookshop.ru/26902.html>

## **7.2. Дополнительная учебно-методическая литература по дисциплине**

1. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / Авторы: А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. - СПб.: БХВ-Петербург. 2005. - 768 с. - 8 экз.
2. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Учебн. пособие. – М.: Радио и связь, 1990. - 15 экз.

## **7.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

В образовательном процессе используются информационные технологии, реализованные на основе информационно-образовательного портала института ([www.mivlgu.ru/iop](http://www.mivlgu.ru/iop)), и инфокоммуникационной сети института:

- предоставление учебно-методических материалов в электронном виде;
- взаимодействие участников образовательного процесса через локальную сеть института и Интернет;
- предоставление сведений о результатах учебной деятельности в электронном личном кабинете обучающегося.

Информационные справочные системы:

Информационно-справочная социальная сеть радиотехников и электроников [www.umup.ru/](http://www.umup.ru/)

Радиотехнический сайт RADIOTRACT. Радиотехника и электроника для разработчиков и радиолюбителей [http://radiotract.ru/link\\_sprav.html](http://radiotract.ru/link_sprav.html)

Радиотехнические системы <http://rateli.ru>

Программное обеспечение:

Не предусмотрено.

## **7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

[ibooks.ru](http://ibooks.ru)  
[iprbookshop.ru](http://iprbookshop.ru)  
[umup.ru](http://umup.ru)  
[radiotract.ru](http://radiotract.ru)  
[rateli.ru](http://rateli.ru)  
[mivlgu.ru/iop](http://mivlgu.ru/iop)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лаборатория приема-передающих устройств и радиосистем

Стенды по исследованию радиопередающих устройств; стенды по исследованию радиоприемных устройств;; осциллограф НМО 1012 – 1 шт.; мультиметр НМ 8112; мультиметр UT803; генератор НМФ 2550; селективный вольтметр STV 401;; учебная система разделения каналов ЭЛБ-ИРК; учебная стойка УРПС (3 блока); учебная система ЭЛБ-ИТУ (8 блоков); учебная система ЭЛБ-ИРС (4 блока); рабочая станция HP Core 2 DUO, 3 GHz; 2 GB, DVD-RW/HP 19” 3 шт.; коммутатор 3 COM; проектор NEC; экран настенный.

## **9. Методические указания по освоению дисциплины**

Для успешного освоения теоретического материала обучающийся: знакомится со списком рекомендуемой основной и дополнительной литературы; уточняет у преподавателя, каким дополнительным пособиям следует отдать предпочтение; ведет конспект лекций и прорабатывает лекционный материал, пользуясь как конспектом, так и учебными пособиями.

До выполнения лабораторных работ обучающийся изучает соответствующий раздел теории. Перед занятием студент знакомится с описанием заданий для выполнения работы, внимательно изучает содержание и порядок проведения лабораторной работы. Лабораторная

работа проводится в компьютерном классе. Обучающиеся выполняют индивидуальную задачу компьютерного моделирования в соответствии с заданием на лабораторную работу. Полученные результаты исследований сводятся в отчет и защищаются по традиционной методике в классе на следующем лабораторном занятии. Необходимый теоретический материал, индивидуальное задание, шаги выполнения лабораторной работы и требование к отчету приведены в методических указаниях, размещенных на информационно-образовательном портале института.

Самостоятельная работа оказывает важное влияние на формирование личности будущего специалиста, она планируется обучающимся самостоятельно. Каждый обучающийся самостоятельно определяет режим своей работы и меру труда, затрачиваемого на овладение учебным содержанием дисциплины. Он выполняет внеаудиторную работу и изучение разделов, выносимых на самостоятельную работу, по личному индивидуальному плану, в зависимости от его подготовки, времени и других условий.

Форма заключительного контроля при промежуточной аттестации – зачет с оценкой. Для проведения промежуточной аттестации по дисциплине разработаны фонд оценочных средств и балльно-рейтинговая система оценки учебной деятельности студентов. Оценка по дисциплине выставляется в информационной системе и носит интегрированный характер, учитывающий результаты оценивания участия студентов в аудиторных занятиях, качества и своевременности выполнения заданий в ходе изучения дисциплины и промежуточной аттестации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению *11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи* и профилю подготовки *Системы радиосвязи и радиодоступа*  
Рабочую программу составил к.т.н., доцент Жиганов Сергей Николаевич \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры *РТ* протокол №16 от 23 мая 2021 года.

Заведующий кафедрой *РТ* \_\_\_\_\_ *Ромашов В.В.*  
(Подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии факультета ФРЭКС протокол №9 от 24.05.2021 года.

Председатель комиссии ФРЭКС \_\_\_\_\_ *Колпаков А.А.*  
(Подпись)



**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**

Программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ года.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Ф.И.О.)

Программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ года.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Ф.И.О.)

Программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ года.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Ф.И.О.)

**Фонд оценочных материалов (средств) по дисциплине**  
**Цифровая обработка сигналов в системах связи**

**1. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине**

1-я контрольная неделя:

1. Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы и их описание.
2. Примеры дискретных сигналов.
3. Спектры аналоговых и дискретных сигналов.
4. Соотношения между аналоговыми и дискретными сигналами.
5. Дискретное преобразование Фурье и его свойства.
6. Свертка дискретных сигналов.
7. Круговая (периодическая) свертка дискретных сигналов.
8. Линейная (апериодическая) свертка дискретных сигналов.
9. Секционированные свертки дискретных сигналов.
10. Аппарат разностных уравнений.

2-я контрольная неделя:

1. Рекурсивные и нерекурсивные дискретные системы.
2. Z - преобразование и его свойства.
3. Z - преобразования основных дискретных последовательностей.
4. Обратное Z-преобразование и методы его вычисления.
5. Решение разностных уравнений с помощью Z-преобразования.
6. Передаточные функции цифровых фильтров.
7. Виды соединения цифровых фильтров.
8. Структурные схемы цифровых фильтров.
9. Импульсные и частотные характеристики цифровых фильтров.
10. Фильтры с конечной импульсной характеристикой.

3-я контрольная неделя:

1. Фильтры с бесконечной импульсной характеристикой.
2. Устойчивость дискретных фильтров.
3. Методы проектирования цифровых фильтров.
4. Критерии, используемые при проектировании цифровых фильтров.
5. Аппроксимационные задачи, возникающие при проектировании цифровых фильтров.
6. Методы проектирования КИХ-фильтров.
7. Методы проектирования БИХ-фильтров.
8. Билинейное преобразование и его свойства.
9. Понятие о программной и аппаратной реализации фильтров.
10. Перспективы развития теории цифровой обработки сигналов.
11. Теоретико-числовые преобразования - перспективные методы для применения в цифровой обработке сигналов.

**Общее распределение баллов текущего контроля по видам учебных работ для студентов**

Рейтинг-контроль 1	Устный опрос	15
Рейтинг-контроль 2	Устный опрос	15
Рейтинг-контроль 3	Устный опрос	15
Посещение занятий студентом	Журнал	5

Дополнительные баллы (бонусы)	Активность работы	5
Выполнение семестрового плана самостоятельной работы	2-3 вопроса из перечня тем самостоятельной работы	5

## 2. Промежуточная аттестация по дисциплине

Перечень вопросов к экзамену / зачету / зачету с оценкой.

Перечень практических задач / заданий к экзамену / зачету / зачету с оценкой (при наличии)

ПК-1:

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в приложении 1.

ПК-2:

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в приложении 1.

### Методические материалы, характеризующих процедуры оценивания

На основе типовых заданий формируются билеты к зачету для студентов, состоящие из двух теоретических вопросов и одной задачи. Билеты содержат задания из всего прочитанного курса. При сдаче зачета студент получает индивидуальное задание, после подготовки и устного ответа, студент получает баллы за зачет. С учетом индивидуального семестрового рейтинга и полученных баллов формируется итоговый рейтинг студента.

Максимальная сумма баллов, набираемая студентом по дисциплине равна 100.

Оценка в баллах	Оценка по шкале	Обоснование	Уровень сформированности компетенций
Более 80	«Отлично»	Содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному	<b>Высокий уровень</b>
66-80	«Хорошо»	Содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками	<b>Продвинутый уровень</b>

50-65	«Удовлетворительно»	Содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки	<b><i>Пороговый уровень</i></b>
Менее 50	«Неудовлетворительно»	Содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки	<b><i>Компетенции не сформированы</i></b>

### 3. Задания в тестовой форме по дисциплине

Примеры заданий:

I: Вопрос 1

S: Субдискретизация это

-: преобразование частоты на АЦП

-: дополнительная дискретизация сигнала

+: дискретизация сигнала с частотой выше частоты Найквиста

-: дискретизация сигнала с частотой ниже частоты Найквиста

I: Вопрос 2

S: Приближенная реализация преобразователя Гильберта возможна при помощи фильтра с линейной ФЧХ

3

Полный перечень тестовых заданий с указанием правильных ответов, размещен в банке вопросов на информационно-образовательном портале института по ссылке <https://www.mivlgu.ru/iop/question/edit.php?courseid=55&category=26640%2C613&qbshowtext=0&recurse=0&recurse=1&showhidden=0>

Оценка рассчитывается как процент правильно выполненных тестовых заданий из их общего числа.