

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор  
Хатуров Т.А.  
подпись  
« » 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.05 ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Направление подготовки 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) Физика и технология радиоэлектронных приборов  
и устройств

Форма обучения очная

Квалификация бакалавр

Краснодар 2022

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика»

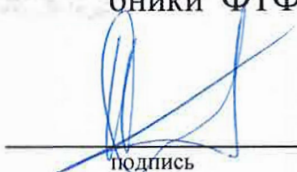
Программу составил:

Д.В. Иус, канд. пед. наук,  
доцент кафедры оптоэлектроники




подпись

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры оптоэлектроники ФТФ, протокол № 8 от 07 апреля 2022 г.  
Заведующий кафедрой оптоэлектроники  
д-р техн. наук, профессор Н.А. Яковенко



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета, протокол № 13 от 16 апреля 2022 г.  
Председатель УМК ФТФ  
д-р физ.-мат. наук, профессор Н.М. Богатов



подпись

Рецензенты:

Попов А.В., директор ООО "Партнер Телеком"

Скачедуб А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики и информационных систем

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение **Части 1 «Теория колебаний»** дисциплины **«Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов»** преследует следующие цели:

формирование у студентов фундаментальных базовых знаний по нелинейным колебательным процессам и освоение методов описания нелинейных колебательных систем

### Задачи:

- формирование представлений о классификации колебательных систем;
- освоение методов качественного интегрирования на фазовой плоскости и аналитическим методам исследования нелинейных колебаний;
- формирование навыков применения методов приближенного описания нелинейных колебаний в системах с одной и двумя степенями свободы для решения задач в области радиофизики.

Курс лекций сопровождается практическими занятиями, в которых используются отечественные учебные пособия, оригинальные задачи и тесты, связанные с чтением лекционного курса.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

2.1. Учебная дисциплина **«Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов»** относится к обязательной части учебного плана.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: "Математический анализ", "Теория функций комплексных переменных и дифференциальные уравнения", "Механика", "Электричество и магнетизм", "Электродинамика".

Знания: Основные законы физики, электродинамики, математические методы электродинамики; основные понятия и методы математического анализа, дифференциального и интегрального исчисления, линейной алгебры, дифференциальных уравнений: разложения функций в степенные ряды и ряды Фурье.

Умения: решать прикладные задачи электродинамики; решать обыкновенные дифференциальные уравнения.

Навыки: составления физических и математических моделей исследуемых систем, составления и интегрирования дифференциальных уравнений, исследования устойчивости получаемых решений.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для курсов: "Распространение электромагнитных волн", "Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника", "Физика волновых процессов. Электродинамика СВЧ".

### III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО (ОС ЮФУ) и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.	<p>ОПК-1.1 Знает фундаментальные законы физики и радиофизики</p> <p>ОПК-1.2 Умеет применять базовые знания в области физики и радиофизики в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p> <p>ОПК-1.3 Владеет теоретическим и экспериментальным аппаратом для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p>	<p><b>Знает:</b> основные понятия, положения и закономерности теории колебаний.</p> <p><b>Умеет:</b> применять знания и методы теории колебаний для решения типовых задач по физике и радиофизике, объяснять и доходчиво доносить до слушателей ход своего решения задачи.</p> <p><b>Владеет:</b> основной терминологией и понятийным аппаратом теории колебаний; навыками использования основ теории колебаний при решении задач теоретического и прикладного характера, в том числе используя элементы педагогики при объяснении хода решения задач.</p>
ПК-1 Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу самостоятельно и в составе научного коллектива	<p>ПК-1.1 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований</p>	<p><b>Знает:</b> способы анализа научно-технической информации по теории колебаний</p> <p><b>Умеет:</b> проводить обработку и критический анализ научно-технической информации по теории колебаний</p> <p><b>Навыки:</b> обработки и анализа научно-технической информации и результатов исследований в области теории колебаний</p>

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины «Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов» составляет 5 зачетных единицы (180 часа), из них Часть 1. «Теория колебаний» - 2.5 зач. ед. (90 часов: 18 часов лекций, 36 часов практических занятий, 36 часов СРС)

Форма отчетности: зачет  
(экзамен, зачет, дифференцированный зачет)

##### 4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия		
<b>Модуль 1 «Автономные системы»</b>							
1	Предмет и место теории колебаний в физике и технике. Классификация колебательных процессов, систем и явлений. Собственные колебания в линейных системах с одной степенью свободы. Фазовая плоскость. Фазовые траектории, интегральные кривые, особые точки, состояния равновесия. Устойчивость состояний равновесия. Консервативные и неконсервативные системы.	6	2	4		4	Решение задач у доски
2	Собственные колебания в нелинейных системах с одной степенью свободы. Качественное интегрирование на фазовой плоскости консервативных нелинейных систем. Уравнение Дуффинга. Бифуркационная диаграмма. Консервативный маятник.	6	2	4		4	Решение задач у доски
3	Неконсервативные нелинейные системы. Приближенные методы анализа нелинейных систем: методы изоклин, сшивания, медленно меняющихся амплитуд.	6	2	4		4	Решение задач у доски.

4	Автоколебания. Определение и общие свойства автоколебательных систем. Переходные процессы и стационарные режимы. Фазовая плоскость. Предельные циклы. Генератор с $\square$ - характеристикой. Уравнение колебаний и его решение методом сшивания. Аттрактор. Диаграмма Ламеря.	6	2	4		4	Решение задач у доски
5	Аналитические методы исследования автоколебаний томсоновских систем. Метод Ван-дер-Поля. Укороченные уравнения. Уравнения стационарного режима. Мягкий и жесткий режимы генерации автоколебаний. Стационарные режимы и их устойчивость. Аттрактор и репеллер. Бифуркационные диаграммы. Фазовая плоскость. Роль нелинейности и обратной связи. Релаксационные автоколебания. Медленные и быстрые движения. Предельные циклы, осциллограммы.	6	2	4		4	Решение задач у доски Контрольная работа 1
<b>Модуль 2 «Неавтономные системы»</b>							
6	Вынужденные колебания. Резонансы в линейном контуре. Вынужденные колебания в контуре с нелинейной возвращающей силой.	6	2	4		4	Решение задач у доски
7	Колебания в системах с двумя степенями свободы. Определение числа степеней свободы. Парциальные и полная системы. Собственные колебания в системах с двумя степенями свободы. Нормальные колебания, связь и связанность парциальных систем. Зависимость собственных частот от расстройки.	6	2	4		4	Решение задач у доски
8	Вынужденные колебания в системах с двумя степенями свободы. Резонансные кривые. Техническое использование резонансов.	6	2	4		4	Решение задач у доски
9	Параметрические колебания в линейных системах. Условия и области реализации параметрического резонанса. Параметрический резонанс в нелинейных системах.	6	2	4		4	Решение задач у доски Контрольная работа 2
	<b>Итого часов</b>		<b>18</b>	<b>36</b>		<b>36</b>	

## 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1.	Автономные колебательные системы.	Решение задач, Подготовка к контрольной работе	До середины семестра	<b>18</b>	Контрольная работа	разд. VII
2.	Неавтономные колебательные системы.	Решение задач, Подготовка к контрольной работе	До конца семестра	<b>18</b>	Контрольная работа	разд. VII
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>36</b>		
Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)				<b>36</b>		

### **4.3 Содержание учебного материала**

#### **Модуль 1. «Автономные системы».**

Предмет и место теории колебаний в физике и технике. Классификация колебательных процессов, систем и явлений.

Собственные колебания в линейных системах с одной степенью свободы. Фазовая плоскость. Фазовые траектории, интегральные кривые, особые точки, состояния равновесия. Устойчивость состояний равновесия. Консервативные и неконсервативные системы.

Собственные колебания в нелинейных системах с одной степенью свободы. Качественное интегрирование на фазовой плоскости консервативных нелинейных систем. Уравнение Дуффинга. Бифуркационная диаграмма. Консервативный маятник.

Неконсервативные нелинейные системы. Приближенные методы анализа нелинейных систем: методы изоклин, сшивания, медленно меняющихся амплитуд.

Автоколебания. Определение и общие свойства автоколебательных систем. Переходные процессы и стационарные режимы. Фазовая плоскость. Предельные циклы.

Генератор со ступенчатой характеристикой. Уравнение колебаний и его решение методом сшивания. Аттрактор. Диаграмма Ламерея.

Аналитические методы исследования автоколебаний томсоновских систем. Метод Ван-дер-Поля. Укороченные уравнения. Уравнения стационарного режима. Мягкий и жесткий режимы генерации автоколебаний. Стационарные режимы и их устойчивость. Аттрактор и репеллер. Бифуркационные диаграммы. Фазовая плоскость. Роль нелинейности и обратной связи.

Релаксационные автоколебания. Медленные и быстрые движения. Предельные циклы, осциллограммы.

#### **Модуль 2. «Неавтономные системы».**

Вынужденные колебания. Резонансы в линейном контуре. Вынужденные колебания в контуре с нелинейной возвращающей силой.

Колебания в системах с двумя степенями свободы. Определение числа степеней свободы. Парциальные и полная системы. Собственные колебания в системах с двумя степенями свободы. Нормальные колебания, связь и связанность парциальных систем. Зависимость собственных частот от расстройки.

Вынужденные колебания в системах с двумя степенями свободы. Резонансные кривые. Техническое использование резонансов.

Параметрические колебания в линейных системах. Условия и области реализации параметрического резонанса. Параметрический резонанс в нелинейных системах.

### **4.4 Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение**

1. Вынужденные колебания. Резонансы в линейном контуре.



## V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения **Части 1 «Теория колебаний»** дисциплины **«Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов»** используются как традиционные, так и инновационные технологии.

Главные методы традиционного обучения – объяснение в сочетании с наглядностью, а виды деятельности учащихся – слушание и запоминание. В них органически вписываются новые способы изложения знаний и новые виды наглядности. Они экономят время, берегут силы преподавателей и обучающихся, облегчают последним понимание сложных знаний, обеспечивают достаточно эффективное управление процессом. Эти методы используются на лекциях.

Инновационные методы включают следующие:

- Проблемная технология используется на семинарских (практических) занятиях.
- Информационные технологии обучения: часть лекций сопровождается демонстрациями на основе компьютерного моделирования

**Наименование тем занятий с использованием активных форм обучения:**

№	Тема занятия	Вид занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	Кол-во часов
1	Все темы	лекции,	лекции с обратной связью	18
2	Все темы	практические занятия	групповые дискуссии	36
Итого часов				54

## VI. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) представляет собой комплект оценочных материалов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся и оформляется в виде приложения к рабочей программе дисциплины (модуля).

## VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Основная литература.

1. Мигулин В.В. и др. Основы теории колебаний. М., 1978.
2. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. М., 1964.
3. Андронов А.А. и др. Теория колебаний. М., 1959.
4. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. М., 1968.

### 7.2. Дополнительная литература.

1. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М., 1974.
2. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы. М.-Л., 1952.

3. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М., 2000.

### **7.3. Список авторских методических разработок.**

1. Турик А.В., Гармашов С.И. Основы теории колебаний. Учебное пособие. Части 1, 2, 3. Ростов-на-Дону, 2009.
2. Турик А.В., Чернышев К.Р. Методические указания по курсу «Теория колебаний». Ростов-на-Дону, 1986.

### **7.4. Периодические издания.**

- Успехи физических наук.
- Физика волновых процессов и радиотехнические системы.

### **7.5. Интернет-ресурсы**

1. Библиотека Учебно-методических ресурсов (УМР) Южного федерального университета <https://hub.lib.sfedu.ru/>
2. Авторские учебные материалы по «Теории колебаний» на интернет-ресурсе автора: [https://sfedu.ru/files/upload/per/57837/otk\\_index.html](https://sfedu.ru/files/upload/per/57837/otk_index.html)

## **VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Учебно-лабораторное оборудование.**

-

### **8.2. Программное обеспечение.**

1. Гармашов С.И., Турик А.В. Электронный информационный образовательный ресурс: <Компьютерная программа "Нелинейные колебания в системах с одной степенью свободы"> [Электрон.ресурс] / С.И. Гармашов, А.В. Турик // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам "ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ БАЗЫ ДАННЫХ ТОПОЛОГИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ".-2006.-№3(56).-С.86. Копия свидетельства № 2006611528 от 06.05.2006

### **8.3. Технические и электронные средства.**

Персональные компьютеры, проектор.

## **IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Регулярное изучение изложенного на лекциях материала
2. Использование моделирующих программ, доступных через интернет, для самостоятельного закрепления материала (п. 7.5.2)

## X. УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов

#### Часть 1. Теория колебаний

Трудоемкость: 2.5 зач.ед.

Форма промежуточной аттестации: **зачет**

Курс 3, семестр 6

Код и наименование направления подготовки (специальности): 03.03.03 - Радиофизика

Наименование образовательной программы: Радиофизика

№	Виды контрольных мероприятий	Текущий контроль	Рубежный контроль
	<b>Модуль 1</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
1.	Посещение лекций	5	
2.	Работа на практических занятиях	5	
3.	Контрольные работы		15
	<b>Модуль 2</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
1.	Посещение лекций	5	
2.	Работа на практических занятиях	5	
3.	Контрольные работы		15
	Всего	<b>20</b>	<b>30</b>
	Итого	<b>50</b>	
	Промежуточная аттестация в форме зачета (по набранным баллам)		
	<b>Итого</b>	<b>50</b>	
	Бонусные баллы		<b>до 10</b>

Преподаватель \_\_\_\_\_  
*подпись*

\_\_\_\_\_ Гармашов С.И.  
*расшифровка подписи*

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»  
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов  
**Часть 1. Теория колебаний**

Направление подготовки

**03.03.03 Радиофизика**

Подписано электронной подписью:  
М.Б. Мануилов, декан физического факультета  
(И.О. Фамилия, должность)

Сертификат №  
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16  
действителен  
с 2 июня 2021 г. 13:13:25 по 2 июня 2022 г. 12:56:37

Ростов-на-Дону, 2021

**ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ДИСЦИПЛИНОЙ**  
**Теория колебаний**  
*(наименование дисциплины)*

Код компетенции	Формулировка компетенции
1	2
<b>ОПК</b>	<b>ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.
<b>ПК</b>	<b>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ПК-1	Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу самостоятельно и в составе научного коллектива

**ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**Теория колебаний**  
*(наименование дисциплины)*

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины*	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства**
1.	Модуль 1. Автономные системы.	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
2.	Модуль 2. Неавтономные системы.	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа

## Оформление комплекта заданий для контрольной работы

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Физический факультет*  
*Структурное подразделение*  
*Кафедра радиоп физики*  
(наименование кафедры)

## Комплект заданий для контрольных работ

### по части 1 «Теория колебаний»

дисциплины «Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов»  
(наименование дисциплины)

#### Вопросы контрольной работы № 1 по модулю 1 Автономные системы.

1. Каковы координаты состояний равновесия в линейных системах?
2. Каковы координаты состояний равновесия в нелинейных системах?
3. Назовите типы особых точек (состояний равновесия) в консервативных системах.
4. Назовите типы особых точек (состояний равновесия) в неконсервативных системах.
5. Для каких систем характерны особые точки типа центра и седла?
6. Как определяются направления движения по фазовым траекториям?
7. В чем различия дважды убегающих и дважды лимитационных движений? Нарисовать осциллограммы.
8. В чем различия лимитационно-убегающих и дважды-лимитационных движений? Нарисовать осциллограммы.
9. Почему собственные колебания в линейных системах изохронны?
10. Почему собственные колебания в нелинейных системах неизохронны?
11. В чем сущность метода сшивания?
12. Какие системы называются автоколебательными? Каковы основные элементы релаксационных автоколебательных систем?
13. Какие системы называются автоколебательными? Каковы основные элементы томсоновских автоколебательных систем?
14. Чем определяется амплитуда автоколебаний генератора с  $\Gamma$  - характеристикой?
15. Как в генераторе с  $\Gamma$  - характеристикой изменить автоколебательный режим на режим затухающих колебаний?
16. Какие системы можно исследовать методом Ван-дер-Поля?
17. Схема и уравнения автоколебаний генератора с  $\Gamma$  - характеристикой.
18. Почему в генераторе Ван-дер-Поля (мягкий режим) возникают устойчивые автоколебания?
19. Почему в генераторе Ван-дер-Поля (жесткий режим) возникают устойчивые автоколебания?
20. Почему при жестком режиме генерации возможно существование как аттрактора, так и репеллера?

21. Чем отличается бифуркационное значение параметра от всех остальных?
22. В каких системах возникают релаксационные автоколебания?
23. Каковы необходимые условия возбуждения фрикционных автоколебаний?
24. Дать определение бифуркационной диаграммы.

**Вопросы контрольной работы № 2 по модулю 2 Невтономные системы.**

1. Какие движения возможны при периодическом воздействии на автоколебательную систему?
2. Резонанс напряжения на катушке индуктивности при вынужденных колебаниях в линейном LRC-контуре.
3. Резонанс напряжения на конденсаторе при вынужденных колебаниях в линейном LRC-контуре
4. Как определяются парциальные системы и парциальные частоты?
5. Каково соотношение между собственными и парциальными частотами?
6. Как определяются тип связи и коэффициенты связи в системах с двумя степенями свободы?
7. Когда возникает резонанс в системах с двумя степенями свободы?
8. Что происходит с собственными частотами при изменении расстройки?
9. В чем принцип работы динамического демпфера?
10. В чем принцип работы фильтра-пробки?
11. Когда не возникает резонанс в системах с двумя степенями свободы?
12. С каким новым типом сил мы сталкиваемся при параметрических колебаниях?
13. Каковы фазовые соотношения, необходимые для возникновения параметрического резонанса в системе с переменной емкостью?
14. Каковы фазовые соотношения, необходимые для возникновения параметрического резонанса в системе с переменной индуктивностью?
15. Каковы энергетические соотношения, необходимые для возникновения параметрического резонанса?
16. Как изменяется характер колебаний в системе, если при фиксированной глубине модуляции параметра  $\mu$  изменять отношение периодов  $\alpha = \tau/T$ ?
17. Каковы главные особенности параметрического резонанса в нелинейной системе?
18. Как изменяется характер колебаний в системе, если при фиксированном отношении периодов  $\alpha = \tau/T$  изменять глубину модуляции параметра  $\mu$ ?

**Критерии оценки:**

- 12-15 баллов выставляется студенту, если ответы даны на все вопросы варианта, но имеются несущественные недочеты
- 10-11 баллов выставляется студенту, если ответы даны на все вопросы варианта, но задания частично не выполнены
- 9 баллов выставляется студенту, если отсутствует ответ на одно задание или ответы на все задания даны поверхностно
- 0-8 баллов выставляется студенту, если отсутствует ответ на два и более заданий

Составитель \_\_\_\_\_ С.И. Гармашов  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Физический факультет*

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Теория колебаний. Цифровая обработка сигналов  
**Часть 2. Цифровая обработка сигналов**

Направление подготовки  
03.03.03 Радиофизика

Направленность:  
Радиофизика

Уровень образования  
бакалавриат

Форма обучения  
Очная

Подписано электронной подписью:  
М.Б. Мануилов, декан физического  
факультета  
*(И.О. Фамилия, должность)*

Сертификат №  
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен со 2 июня 2021 г. 13:13:25  
по 2 июня 2022 г. 12:56:37

Ростов-на-Дону, 2021



**Составитель:**

Барабашов Б.Г., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики

Программа одобрена на заседании кафедры радиофизики физического факультета ЮФУ  
«02» марта 2021 г., протокол № 19

## **I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цель освоения дисциплины.**

Обучить студентов основам теории и практики формирования и обработки сигналов в системах передачи информации. Изучить основные закономерности и методы передачи сообщений по каналам связи, вопросы анализа помехоустойчивости и пропускной способности систем связи, методы помехоустойчивого кодирования, способы оптимального приема сообщений, принципы многоканальной передачи информации, основы цифровой обработки сигналов, вопросы оптимизации систем связи.

**Дать основные сведения по теории связи и методам передачи информации. Ознакомить обучающихся с принципами построения аналоговых и цифровых систем связи.**

### **1.2. Задачи дисциплины:**

- Изучить теорию детерминированных сигналов, обратив основное внимание на ортогональные преобразования при их обработке.
- Изучить свойства частотных спектров сигналов и спектрального метода анализа процесса взаимодействия сигналов и систем.
- Овладеть методом корреляционного анализа сигналов.
- Познакомиться с теоретическими основами аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей.
- Познакомиться с основами теории дискретных сигналов, рассмотреть методы спектрального анализа и фильтрации дискретных сигналов.
- Ознакомиться с алгоритмами работы и принципами построения цифровых фильтров.
- Освоить основные вопросы теории оптимальной (согласованной) фильтрации.
- Изучить теорию узкополосных радиосигналов.
- Изучить теорию широкополосных радиосигналов.
- Ознакомиться с основными методами модуляции и манипуляции.
- Познакомиться с принципами построения многоканальных систем связи (систем уплотнения).
- Познакомиться с принципами помехоустойчивого кодирования.
- Изучить вопросы формирования, обработки и применения сложных сигналов в широкополосных системах связи.

-

## **- II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО**

2.1. Курс "Цифровая обработка сигналов" относится к обязательной части программы блока Б1 дисциплин подготовки высококвалифицированных специалистов, владеющих современными методами анализа и синтеза систем и устройств связи различного назначения. Курс соответствует Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению «Радиофизика 03.03.03».

2.2 Данный курс является составной частью интегрированной образовательной программы, включающей бакалавриат и магистратуру. Смежные курсы: "Системы связи", "Радиоэлектроника", "Мобильные системы связи".

Программа по Цифровой обработке сигналов включает: лекционный курс, задание на самостоятельную работу, лабораторные работы. Форма контроля – зачет.

### III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1 Знает фундаментальные законы физики и радиофизики ОПК-1.2 Умеет применять базовые знания в области физики и радиофизики в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности ОПК-1.3 Владеет теоретическим и экспериментальным аппаратом для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	Знает информацию, необходимую для решения поставленной задачи Умеет разрабатывать решение конкретной задачи, выбирая оптимальный вариант, оценивая его достоинства и недостатки Владеет навыками формулирования в рамках поставленной цели проекта совокупности взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение Умеет определять ожидаемые результаты решения выделенных задач
ПК-1. Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу самостоятельно и в составе научного коллектива	ПК-1.1 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований ПК-1.2 Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам ПК-1.3 Управление результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ	Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования Владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часа,

в том числе 6 семестр: 2,5 зач. ед., 90 часа, форма отчетности: зачет

##### 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов. Форма обучения: очная

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися					
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	Контроль		
1	<b>Обработка аналоговых детерминированных сигналов.</b>	4	18	36			36	Решение задач, учет посещений лекций, экзамен.
<b>Итого часов</b>			18	36			36	

##### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1	<b>Обработка аналоговых детерминированных сигналов.</b>	Решение задач, Теоретические обзоры	до конца 6-го семестра	18	Правильное решение задачи	
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				18		
<b>Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)</b>				18		

#### 4.3. Содержание учебного материала .

1. Введение. Задачи 1-й части курса, его содержание. Классификация сигналов: аналоговые, дискретные, импульсные, цифровые. Системы сигналов.

3. Обработка аналоговых детерминированных сигналов. Разложение по системе ортогональных функций. Обобщенный ряд Фурье. Обобщенное равенство Парсеваля.

Гармонический (частотный) анализ периодических и одиночных сигналов. Ряд и интеграл Фурье. Спектры и их свойства: сдвиг во времени, зависимость от периода повторения, смещение по частоте, спектр радиосигнала, сложение и умножение сигналов. Спектр производной и интеграла от сигнала. Энергетический спектр. Активная ширина спектра. Равенство Парсеваля. Взаимный энергетический спектр.

Связь длительности сигнала и его спектра. Взаимная обратимость частоты и времени в преобразовании Фурье. Временная и частотная свертки. Текущий спектр. Примеры спектров: спектр видеоимпульса прямоугольной формы, дельта-сигнал, сигнал Котельникова..

4. Линейные системы. Свойства, характеристики. Импульсная и передаточные характеристики (АЧХ и ФЧХ), их взаимосвязь. Условия неискаженной передачи. Интеграл Дюамеля.

5. Обработка дискретных и цифровых сигналов.

Структурная схема преобразования аналог-цифра, цифра-аналог. Дискретизация во временной и частотной областях. Теорема Котельникова. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ), его свойства. Алгоритмы ПДПФ и ОДПФ действительной последовательности.

Быстрое преобразование Фурье. Амплитудное квантование. Шум квантования. Выбор шага квантования. Цифровые фильтры (ЦФ). Нерекурсивный ЦФ: алгоритм работы, частотная характеристика, особенности построения, структурная схема. Рекурсивный ЦФ: алгоритм работы, частотная характеристика, особенности построения, структурная схема,.

5. Основные положения корреляционного анализа. Функции корреляции и автокорреляции. Коэффициент корреляции, интервал корреляции. Коррелометр. Корреляционный прием.

6. Обработка сигналов при наличии помех. Аддитивная и мультипликативная помехи.

Влияние ограниченной полосы пропускания идеального фильтра нижних частот на искажения фронта сигнала. Частотная фильтрация сигналов на фоне помех. Квазиоптимальный фильтр Сифорова. Корреляционный метод и метод накопления применительно к выделению сигналов на фоне помех.

7. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр максимизирующий отношение сигнал/шум. Сигнал и помеха на выходе оптимального фильтра.

8. Широкополосные (сложные сигналы): назначение, классификация, выбор кода, оптимальная фильтрация. Широкополосные сигналы на основе M-последовательностей: свойства, генерация, скрытность. Область применения широкополосных сигналов: помехоустойчивость, борьба с многолучевостью, увеличение разрешающей способности.

#### V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Наименование тем занятий с использованием активных форм обучения.

Активные формы не используются. Взамен проводится детальный анализ результатов выполнения лабораторных работ.

#### VI. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

**текущий контроль** в форме учета посещений лекций и практических занятий, учет выполнения домашних заданий;

**рубежный контроль** в форме оценок качества выполнения контрольных работ;

**промежуточная аттестация** - контрольные мероприятия для промежуточного и рубежного контроля по модулям рабочей программы с оценкой успеваемости на основе балльно - рейтинговой системы

**ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**«Цифровая обработка сигналов»**  
*(наименование дисциплины)*

<i>№ n/n</i>	<i>Контролируемые разделы дисциплины*</i>	<i>Код контролируемой компетенции</i>	<i>Наименование оценочного средства**</i>
Дисциплина состоит из двух частей			
Модули первой части			
1.	Модуль 1. Гармонический анализ периодических и одиночных сигналов. Ряд и интеграл Фурье. Спектры и их свойства.. Энергетический спектр. Активная ширина спектра. Равенство Парсеваля. Примеры спектров: спектр.	ОПК-1, ПК-1	Домашняя работа 1. Лабораторные работы
2.	Модуль 2. Обработка дискретных и цифровых сигналов. Структурная схема преобразования аналог-цифра, цифра-аналог. Теорема Котельникова. Амплитудное квантование. Цифровые фильтры (ЦФ). Обработка сигналов при наличии помех.. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр максимизирующий отношение сигнал/шум.	ОПК-1, ПК-1	Домашняя работа 2 Лабораторные работы

\* *Наименование раздела указывается в соответствии с рабочей программой дисциплины.*

\*\**Наименование оценочного средства указывается в соответствии с учебной картой дисциплины.*

**Список лабораторных работ**

1. Цифровая система связи.
2. Исследование спектров сигналов.
3. Детектирование АМ колебаний.
4. Исследование детектора ЧМ сигналов.
5. Исследование аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования сигналов.
6. Исследование спектров модулированных сигналов.
7. Исследование помехоустойчивости системы связи при разных видах модуляции.

**Вопросы домашней работы №1**

1. Разложение сигнала по системе ортогональных функций. Обобщенный ряд Фурье. Преимущества тригонометрического разложения. Тригонометрический ряд Фурье.
2. Свойства спектров периодических сигналов. Соотношение спектров одиночного и периодических сигналов. Текущий спектр.
3. Спектральная функция (определения, свойства). Энергетический спектр. Активная ширина спектра. Равенство Парсеваля. Взаимный энергетический спектр.
4. Связь спектра с длительностью сигнала.
5. Взаимная обратимость переменных в преобразовании Фурье.
6. Спектральная функция производной и интеграла от сигнала.
7. Два свойства спектров: сдвиг во времени и изменение масштаба.

8. Спектр радиосигнала и его связь с огибающей. Спектр произведения сигналов. Временная и частотная свертки.
9. Линейные системы: свойства характеристики. Импульсная и передаточные характеристики (АЧХ и ФЧХ), их взаимосвязь. Интеграл Дюамеля. Условия неискаженной передачи.
10. Влияние ограниченной полосы пропускания идеального фильтра нижних частот на искажения фронта импульсного сигнала.
11. Спектр видеосигнала прямоугольной формы. Дельта-сигнал (свойства, спектр).
12. Функции автокорреляции и корреляции. Коэффициент корреляции, интервал корреляции. Связь со спектральными характеристиками. Коррелометр. Корреляционный прием.

Задачи работы №1.

1. Спектр треугольного сигнала. Сопоставьте полученный спектр со спектром прямоугольного видеоимпульса.
2. Спектр трапецеидального сигнала. Сопоставьте полученный спектр со спектром прямоугольного видеоимпульса.
3. Спектр парных видеоимпульсов прямоугольной формы.
4. Спектр экспоненциального сигнала.
5. Спектр колокольного сигнала:  $f(t) = A \cos \omega_0 t$ ,  $\omega_0 = \pi / t_u$ .
6. Спектр пачки импульсов прямоугольной формы. Как меняется спектр при увеличении числа импульсов в пачке?
7. Спектр затухающих гармонических колебаний вида:

$$f(t) = 1 \exp(-at) \cos \omega_0 t .$$

8. Амплитудный спектр прямоугольного радиоимпульса.
9. Найдите амплитудный и фазовый спектры гауссова сигнала, заданного формулой:

$$f(t) = A \exp(-\beta t^2).$$

Определите длительность сигнала на уровне 0,5А.

10. Вычислите свертку двух экспоненциальных видеоимпульсов:  $f_1(t) = A_1 \exp(-\beta_1 t)$ ,  $f_2(t) = A_2 \exp(-\beta_2 t)$ ,  $t > 0$  двумя способами: а) прямым нахождением интеграла свертки, б) с помощью спектров.

### Вопросы домашней работы №2.

1. Временное квантование. Теорема Котельникова. Спектры дискретных сигналов.
2. Дискретизация во временной и частотной областях. База сигнала. ПДПФ и ОДПФ, их свойства.
3. Амплитудное квантование. Выбор шага квантования. Шум квантования.
4. Цифровые фильтры. Нерекурсивный ЦФ: алгоритм работы, частотные характеристики, особенности построения, структурная схема.
5. Рекурсивный цифровой фильтр: алгоритм работы, частотные характеристики, особенности построения, структурная схема, каноническая структурная схема.
6. Нерекурсивный и рекурсивный фильтры первого порядка..
7. Квазиоптимальный фильтр Сифорова. Постановка и план решения задачи. Основные результаты.
8. Метод накопления. Пример реализации на пачке импульсов.
9. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр максимизирующий отношение сигнал/шум. Механизмы работы ОФ.
10. Сигнал и шум на выходе оптимального фильтра. Ограниченность эффективности применения оптимального фильтра для простых сигналов.
11. Широкополосные сигналы: назначение, классификация, особенности корреляционной функции, коэффициенты сжатия и подавления, оптимальная фильтрация.

**Критерии оценки:**

Ответы на экзаменационные билеты даются студентом письменно. Затем преподаватель проверяет данные студентом ответы, задает дополнительные вопросы, проводит краткое собеседование. Максимальное количество баллов, которые студент может набрать за экзамен – 40. Критерии оценки успеваемости по дисциплине устанавливаются на основе балльно - рейтинговой системы по сумме баллов, набранных студентами в семестре и на экзамене:

**отлично –**

*устный ответ* - ответ полный и правильный; материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком; ответ самостоятельный.

*Ответы на дополнительные вопросы* – даны верно. Сумма баллов – 86-100.

**хорошо –**

*устный ответ* - ответ полный и правильный; материал изложен в определенной логической последовательности, при этом допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.

*Ответы на дополнительные вопросы* – обучающийся испытывает небольшие затруднения. Сумма баллов – 71-85.

**удовлетворительно –**

*устный ответ* - ответ полный, но при этом допущена существенная ошибка, или неполный, несвязный.

*Ответы на дополнительные вопросы* – обучающийся испытывает существенные затруднения. Сумма баллов – 60-70.

**неудовлетворительно –**

*устный ответ* - при ответе обнаружено непонимание обучающимся основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые обучающийся не смог исправить при наводящих вопросах преподавателя или ответ отсутствует.

## **VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Литература.**

1. Гоноровский С.И. - Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Дрофа, 2006. 719. а также более старое издание М.: Радио и связь, 1986.
2. Баскаков С.И. - Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. 448.
3. Сергеев А.Б. - Цифровая обработка сигналов., СПб.: Питер, 2003, 608. и 2-е издание – СПб.: Питер, 2006.
4. Соломина А.И. и др. - Основы цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2003, 608.
5. Теория передачи сигналов. Авторы: Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В. Финк Л.М. - М.: "Связь", 1980 .
6. Теория электрической связи. Ред. Кловский Д.Д. - М.: Радио и связь, 1999. 432.
7. Скляр Б. - Цифровая связь . М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. 1104.
8. . Томаси У. - Электронные системы связи. Москва: Техносфера, 2007. 1360.

### **Дополнительная литература.**

1. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. – Цифровая обработка сигналов, СПб.: Политехника, 1999 г. 592.
2. Залманзон Л.А. - Преобразования Фурье, Уолша и Хаара и их приложения. М.: Наука, 1988. 496.
3. Латхи Б.П. - Система передачи информации. Из-во "Связь", М., 1971.324.
4. Стейн С., Джонс Дж. - Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений. Из-во "Связь", М., 1971.373.



5. Пенин П.И., Филиппов Л.И. - Радиотехнические системы передачи информации. М., "Радио и связь", 1984.

## VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1. Учебно-лабораторное оборудование

Стандартно оборудованная лекционная аудитория. Для проведения интерактивных лекций – компьютерный класс с мультимедийным проектором в комплекте с экраном.

### 8.2. Программные средства

PDF-Reader, Microsoft Office.

### 8.3. Технические и электронные средства

Лаборатория для выполнения лабораторного практикума, оснащенная необходимыми стендами (макетами), измерительными приборами и учебно-методической литературой. Персональные компьютеры, полностью оснащенных стендами и измерительными приборами..

8.4. Список лабораторных работ.

8. Цифровая система связи.
9. Исследование спектров сигналов.
10. Детектирование АМ колебаний.
11. Исследование детектора ЧМ сигналов.
12. Исследование аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования сигналов.
13. Исследование спектров модулированных сигналов.
7. Исследование помехоустойчивости системы связи при разных видах модуляции.

## IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Широкополосные сигналы. Учебно-методическое пособие для студентов по направлению «Телекоммуникации» Ростов-на-Дону, 2008.
2. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Цифровые фильтры. Учебно-методическое пособие для студентов по направлению «Телекоммуникации» Ростов-на-Дону, 2008.

## X. УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) «Цифровая обработка сигналов» на 6 семестр

Трудоемкость 2 зач.ед., зачет.

Преподаватель – проф. Барабашов Б.Г.

Курс 3. Семестр 6. Направление подготовка 03.03.03 «Радиофизика»

Наименование образовательной программы: «Радиофизика»

№	Виды контрольных мероприятий	Текущий контроль	Рубежный контроль (при наличии)
	<b>Модуль 1</b>	<b>44</b>	<b>6</b>
1	Посещение лекций	10	
2	Выполнение самостоятельной работы (письменный отчет)	34	
	<b>Модуль 2</b>	<b>44</b>	<b>6</b>
1.	Посещение лекций	10	
2.	Выполнение самостоятельной работы (письменный отчет)	34	
	<b>Итого</b>	<b>100</b>	
	Бонусные баллы		<b>до 10</b>
	Промежуточная аттестация в форме зачета		

Преподаватель:

Барабашов Б.Г.