

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники и электроники

Небольсин В.А.

«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**«Цифровые алгоритмы обнаружения и демодуляции радиосигналов»**

**Направление подготовки — 11.04.01 «Радиотехника»**

**Магистерская программа — Радиотехнические средства обработки и защиты информации в каналах связи**

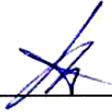
**Квалификация выпускника — магистр**

**Нормативный период обучения — 2 года**

**Форма обучения — очная**

**Год начала подготовки — 2021**

Автор программы

 /Литвиненко В.П./

Заведующий кафедрой  
радиотехники

 /Останков А.В./

Руководитель ОПОП

 / Останков А.В./

Воронеж 2021

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели дисциплины

Изучение современных цифровых алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов и методов их реализации.

## 1.2. Задачи освоения дисциплины:

- 1) изучение методов обнаружения и демодуляции радиосигналов;
- 2) изучение методов цифровой обработки сигналов;
- 3) изучение возможностей практической реализации алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Цифровые алгоритмы обнаружения и демодуляции радиосигналов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Цифровые алгоритмы обнаружения и демодуляции радиосигналов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 — Способен выполнять моделирование объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая пакеты прикладных программ;

ПК-3 — Способен выполнять анализ радиотехнических средств формирования, приема, обработки и защиты информации, формировать рекомендации по использованию результатов анализа;

ПК-5 — Способен формировать отчетную документацию по результатам выполненного исследования в виде аннотированных обзоров и научно-технических отчетов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	Знать методы моделирования и оптимизации алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов.
	Уметь моделировать процедуры обнаружения и демодуляции радиосигналов.
	Владеть методами моделирования процедур обнаружения и демодуляции радиосигналов.

ПК-3	Знать методы анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов.
	Уметь применять методы анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов.
	Владеть методами анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов.
ПК-5	Знать правила оформления отчетной документации.
	Уметь оформлять отчеты по моделированию и разработке устройств обнаружения и демодуляции радиосигналов.
	Владеть правилами оформления отчетной документации.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Цифровые алгоритмы обнаружения и демодуляции радиосигналов» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	70	70
в том числе:		
лекции	34	34
лабораторные работы, в том числе в форме практической подготовки	36 10	36 10
<b>Самостоятельная работа</b>	38	38
Виды промежуточной аттестации		зачёт
Общая трудоемкость академические часы з.е.	108 3	108 3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекции	Лаб. зан./ практич. подготовка	СРС	Всего, час
1	Введение	Задачи обнаружения и демодуляции радиосигналов, модели радиосигналов	2		4	6
2	Цифровое представление радиосигналов	Свойства цифрового описания сигналов, спектральное описание, корреляционные характеристики. Преобразование частоты, DOWN-конвертеры	4	8	4	18
3	Обнаружение радиосигналов	Классическая теория обнаружения сигналов. Спектральные методы обнаружения. Радиомониторинг. Обнаружение узкополосных радиосигналов, алгоритмы, помехоустойчивость.	6	4	6	18
		Практическая подготовка обучающихся		4		
4	Алгоритмы демодуляции сигналов с АМ	Сигналы с АМ, демодуляция, цифровые алгоритмы демодуляции, характеристики помехоустойчивости.	4	4	6	14
5	Алгоритмы демодуляции сигналов с ЧМ	Сигналы с ЧМ, частотный детектор, цифровые алгоритмы демодуляции, характеристики помехоустойчивости.	4	4	4	14
6	Алгоритмы демодуляции сигналов с ФМ	Сигналы с ФМ и ОФМ, фазовый детектор, цифровые алгоритмы демодуляции, характеристики помехоустойчивости.	6	6	4	14
		Практическая подготовка обучающихся		6		
7	Моделирование алгоритмов демодуляции радиосигналов	Программное обеспечение, универсальные программы, модели в MathCAD и MATLAB	4	6	4	12
8	Реализация алгоритмов цифровой обработки	Программная реализация на микропроцессорах. Реализация на ПЛИС, программное обеспечение.	4	4	6	12
<b>Итого</b>			<b>34</b>	<b>36/10</b>	<b>38</b>	<b>108</b>

Практическая подготовка при освоении дисциплины проводится путем непосредственного выполнения обучающимися отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью, способствующих формированию, закреплению и развитию практических навыков и компетен-

ций по профилю соответствующей образовательной программы на лабораторных работах.

№ п/п	Перечень выполняемых обучающимися отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью	Формируемые профессиональные компетенции
1	Математическое и статистическое имитационное моделирование алгоритмов цифровой обработки сигналов в различных программных продуктах	ПК-2 Способен выполнять моделирование объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая пакеты прикладных программ
2	Определение и анализ характеристик алгоритмов цифровой обработки сигналов	ПК-3 Способен выполнять анализ радиотехнических средств формирования, приема, обработки и защиты информации, формировать рекомендации по использованию результатов анализа
3	Формирование отчетов о результатах исследования алгоритмов цифровой обработки сигналов	ПК-5 Способен формировать отчетную документацию по результатам выполненного исследования в виде аннотированных обзоров и научно-технических отчетов

## 5.2. Перечень лабораторных работ

1. Ознакомительная.
2. Моделирование сигналов.
3. Дискретизация сигнала.
4. Моделирование цифрового обнаружителя узкополосного радиосигнала.
5. Моделирование цифрового обнаружителя фазоманипулированного сигнала.
6. Моделирование цифрового детектора сигнала с АМ.
7. Моделирование демодулятора сигналов с ФМ.
8. Заключительное занятие.

Преподаватель может предлагать студентам усложненные лабораторные задания по моделированию и реализации на ПЛИС алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов.

Лабораторные работы выполняются на компьютерах компьютерного класса кафедры радиотехники.

При выполнении лабораторных работ выдаются индивидуальные задания по практической подготовке студентов, которые выполняются на персональном компьютере с использованием программного обеспечения свободного доступа: MathCAD Express - Free Engineering Math Software, SMathStudio, Micro-Cap 12, Qt, TINA – TI.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1. Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе: «аттестован»; «не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	Знать методы моделирования и оптимизации алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Выполнение заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь моделировать процедуры обнаружения и демодуляции радиосигналов	Выполнение заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методами моделирования процедур обнаружения и демодуляции радиосигналов	Выполнение расчетов характеристик алгоритмов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	Знать методы анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Выполнение заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь применять методы анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Выполнение заданий по моделированию	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методами анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Выполнение заданий по моделированию	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	Знать правила оформления отчетной документации	Выполнение заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь оформлять отчеты по моделированию и разработке устройств обнаружения и демодуляции радиосигналов	Выполнение заданий по моделированию.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть правилами оформления отчетной документации	Решение задач по программированию	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

## 7.1.2. Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»; «не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-2	Знать методы моделирования и оптимизации алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь моделировать процедуры обнаружения и демодуляции радиосигналов	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами моделирования процедур обнаружения и демодуляции радиосигналов	Решение задач.	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	Знать методы анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь применять методы анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Решение стандартных практических задач.	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами анализа алгоритмов обнаружения и демодуляции радиосигналов	Решение задач.	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	Знать правила оформления отчетной документации	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь оформлять отчеты по моделированию и разработке устройств обнаружения и демодуляции радиосигналов	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть правилами оформления отчетной документации	Решение заданий по программированию	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

**7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

**7.2.1. Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

**Задание 1.** Минимальная частота дискретизации сигнала с шириной спектра 100 кГц равна ... (200).

**Задание 2.** Минимальная частота дискретизации АМ-сигнала с несущей частотой  $f = 10$  МГц и шириной спектра модулирующего сигнала  $F = 10$  кГц равна ... кГц (2020).

---

**Задание 3.** Число проверочных символов в двоичном коде Хемминга (7,4) равно ... (3)

**Задание 4.** Длина последовательности Уолша с четырьмя кодовыми комбинациями равна ... (16).

**Задание 5.** Индекс частотной модуляции сигнала с тональной ЧМ с девиацией частоты 100 кГц и частотой модулирующего сигнала 10 кГц равен ... (10).

**Задание 6.** Глубина модуляции сигнала с АМ про амплитуде несущей 1 В и амплитуде модулирующего сигнала 0,5 В равна ... % (50).

**Задание 7.** Число кодовых комбинаций в двоичном коде Хемминга (7,4) равно ... (16).

**Задание 8.** База широкополосного сигнала на базе двоичных последовательностей с длительностью информационного символа 100 мкс и длительностью элемента 1 мкс равна ... (100).

**Задание 9.** Двоичный регистр сдвига с 10-ю триггерами позволяет сформировать M-последовательность с периодом ... элементов (1023).

**Задание 10.** С усилением корреляционных связей случайного процесса ширина спектра ... (3)

1) увеличивается 2) не меняется 3) уменьшается

### **7.2.2. Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

**Задание 1.** Разработать программу моделирования сигнала с АМ.

**Задание 2.** Разработать программу моделирования гауссовского случайного процесса.

**Задание 3.** Разработать программу моделирования сигнала с двоичной частотной манипуляцией.

**Задание 4.** Разработать программу моделирования сигнала с двоичной фазовой манипуляцией.

**Задание 5.** Разработать программу моделирования процедуры дискретизации гауссовского случайного процесса.

**Задание 6.** Разработать программу моделирования процедуры дискретизации сигнала с АМ.

**Задание 7.** Разработать программу спектрального анализа сигнала с АМ.

**Задание 8.** Разработать программу спектрального анализа гауссовского случайного процесса.

**Задание 9.** Разработать программу спектрального анализа сигнала с двоичной ФМ.

**Задание 10.** Разработать программу оценки корреляционной функции гауссовского случайного процесса.

### **7.2.3. Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

Задания не предусмотрены.

### **7.2.4. Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Радиосигналы, их виды и описание.
2. Случайные процессы, их описание и свойства.
3. Спектральное описание сигналов и помех.
4. Постановка задачи обнаружение сигналов, критерии принятия решения.
5. Классическая теория обнаружения, простейшие алгоритмы, основные результаты.
6. Цифровое представление сигналов и помех, их дискретизация.
7. Виды модуляции радиосигналов, основные свойства.
8. Цифровой алгоритм обнаружения узкополосных сигналов.
9. Цифровой алгоритм обнаружения сигналов с фазовой манипуляцией.
10. Цифровой алгоритм демодуляции сигналов с АМ.
11. Цифровой алгоритм демодуляции сигналов с ЧМ.
12. Цифровой алгоритм когерентной демодуляции сигналов с ФМ.
13. Цифровой алгоритм когерентной демодуляции сигналов с ОФМ.
14. Цифровой алгоритм некогерентной демодуляции сигналов с ОФМ.
15. Синхронизация демодуляторов, виды и основные требования.
16. ПЛИС, характеристики и свойства.
17. Методы проектирования аппаратуры на ПЛИС.
18. Программная реализация цифрового алгоритма демодуляции сигналов, пример.

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет проводится в виде опроса по лабораторным работам и теоретическому материалу. Максимальное количество набранных баллов – 15. Оценка «зачтено» ставится в случае, если студент набрал более 9 баллов, и иначе ставится оценка «не зачтено».

### **7.2.7. Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ
2	Цифровое представление радиосигналов	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ
3	Обнаружение радиосигналов	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Защита лабораторных работ
4	Алгоритмы демодуляции сигналов с АМ	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Защита лабораторных работ
5	Алгоритмы демодуляции сигналов с ЧМ	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Защита лабораторных работ
6	Алгоритмы демодуляции сигналов с ФМ	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Защита лабораторных работ
7	Моделирование алгоритмов демодуляции радиосигналов	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Защита лабораторных работ
8	Реализация алгоритмов цифровой обработки	ПК-2, ПК-3, ПК-5	Защита лабораторных работ

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования – 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач – 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] / А. Оппенгейм, Р. Шафер; перевод С.А. Кулешова, Е.Б. Махиянова, Н.Ф. Орлова. — М.: Техносфера, 2012. — 1048 с. — Режим доступа: URL: <https://www.iprbookshop.ru/26906.html>.

2. Гадзиковский, В.И. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Гадзиковский В.И. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2013. — 766 с. — Режим доступа: URL: <http://www.iprbookshop.ru/26929.html>.

3. Литвиненко, В.П. Моделирование случайных процессов [Текст]: учеб. пособие / В.П. Литвиненко, О.В. Чернояров. — Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2017. — 174 с.

4. Глушков, А.Н. Цифровые алгоритмы обнаружения и демодуляции радиосигналов [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Глушков, В.П. Литвиненко, Ю.В. Литвиненко. — Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. — 156 с.

5. Моделирование случайных процессов: методическое руководство к лабораторным работам № 1-2 по дисциплине «Моделирование адаптивных радиотехнических устройств и систем» для студентов специальности 210302 «Радиотехника» очной формы обучения [Текст] / Каф. радиоэлектронных устройств и систем; сост. В. А. Козьмин. — Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. — 37 с.

**8.2. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Математические и моделирующие программы свободного доступа в сети «Интернет».

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Компьютерный класс кафедры радиотехники, включая 22 персональных компьютера.

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Цифровые алгоритмы обнаружения и демодуляции радиосигналов» читаются лекции и выполняются лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания. При выполнении лабораторных работ студентам выдаются индивидуальные задания по практической подготовке.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Дни перед зачетом эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
	Актуализирован перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	20.04.2025	