

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**Кафедра радиотехники**

**ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по организации самостоятельной работы  
для студентов бакалавриата  
направления 11.03.01 «Радиотехника»  
очной и заочной форм обучения**

**Воронеж 2022**

УДК 621.37  
ББК 32.84

**Составитель**  
д-р техн. наук А. Б. Токарев

**Обнаружение сигналов:** методические указания по организации самостоятельной работы для студентов бакалавриата направления 11.03.01 «Радиотехника» очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А. Б. Токарев. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 15 с.

Содержат краткие сведения о рабочей программе дисциплины и рекомендации по подготовке к отдельным видам занятий и по углубленной проработке отдельных разделов дисциплины «Обнаружение сигналов» при самостоятельной работе студентами бакалавриата направления 11.03.01 "Радиотехника" (профиль "Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов") очной и заочной форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле «БРТ\_СамР\_Обнаружение сигналов.pdf»

Ил. 0 Табл. 3 Библиогр.: 5 назв.

**УДК 621.37**  
**ББК 32.84**

**Рецензент** – А.В. Башкиров, д-р техн. наук, зав. кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Самостоятельная работа студента (СРС) – это часть образовательного процесса, направленная на развитие готовности к профессиональному самообразованию, средство приобретения необходимых навыков и компетенций.

Самостоятельная работа по дисциплине «Обнаружение сигналов» предусматривает расширенное изучение разделов дисциплины, углубленную проработку теоретического материала по отдельным вопросам учебного курса, подготовку к выполнению лабораторных работ (включая выполнение домашних заданий, работу со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, решение задач, подготовку отчетов и ответов на контрольные вопросы).

Результаты СРС проявляются в активности студента на занятиях и повышении качественного уровня выполненных контрольных работ и тестовых заданий. Контроль результативности СРС осуществляется во время занятий, проводимых в форме контактной работы.

# 1. Основные сведения об изучаемой дисциплине

## 1.1 Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины – формирование у студентов базового объема знаний, позволяющего подходить к решению инженерных радиотехнических задач со статистических позиций; освоение типовых методов обнаружения радиосигналов.

Для достижения цели ставятся задачи:

1. Изучение математического аппарата, применяемого при вероятностном описании случайных процессов.
2. Освоение базовых методов статистического анализа и синтеза радиотехнических устройств и систем.
3. Получение навыка использования методов оптимального обнаружения и различения сигналов на фоне помех.

## 1.2 Разделы, входящие в рабочую программу дисциплины

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего часов
1	Оптимальный приём радиосигналов и потенциальная помехоустойчивость систем связи	16	-	8	22	46
2	Особенности практической реализации приема радиосигналов	16	-	8	23	47
3	Сложные сигналы и их применение	8		4	30	42

## Заочная форма обучения

№ п/п	Наименование раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего часов
1	Оптимальный приём радиосигналов и потенциальная помехоустойчивость систем связи	4	-	4	48	56
2	Особенности практической реализации приема радиосигналов	2	-	8	48	58
3	Сложные сигналы и их применение	2	-	-	55	57

### 1.3 Формы итоговой аттестации

При очной форме обучения изучение дисциплины завершается в семестре 6 экзаменом.

При заочной форме обучения изучение дисциплины завершается в семестре 6 экзаменом.

### 1.4 Типовые вопросы к экзамену

1. Предельно достижимое отношение сигнал/шум на выходе линейной цепи при оптимальном обнаружении сигнала известной формы в условиях действия белого шума (согласованная фильтрация).

2. Согласованный фильтр; импульсная характеристика и комплексный коэффициент передачи согласованного фильтра.

3. Проблема синхронизации при когерентном обнаружении сигнала известной формы. Некогерентное обнаружение сигналов, его достоинства и недостатки.

4. Оптимальное обнаружение сигналов известной формы в условиях действия помехи с произвольной формой спектральной плотности мощности. Оптимальный фильтр и его комплексный коэффициент передачи.

5. Оптимальное выделение сигналов неизвестной формы в условиях действия помехи с произвольной формой спектральной плотности мощности. Коэффициент передачи оптимального фильтра.

6. Оптимальная фильтрация сигнала неизвестной формы в условиях действия помехи с произвольной формой спектральной плотности мощности. Минимально достижимая среднеквадратическая ошибка фильтрации сигнала.

7. Квазиоптимальные фильтры; их достоинства и недостатки в сравнении с согласованными фильтрами.

8. Потенциальная помехоустойчивость при точно известном ансамбле сигналов.

9. Прием радиосигналов в каналах с замираниями

10. Прием сигналов в условиях сосредоточенных и импульсных помех

11. Обнаружение сверхширокополосных радиолокационных сигналов

12. Векторное представление сигнала. Основные характеристики сигнала в функциональном пространстве (расстояние между двумя разными сигналами, угол между векторами этих сигналов, удаление сигнала от начала координат).

13. Функциональное пространство сигналов; размерность пространства. Понятие базы сигнала (ансамбля сигналов).

14. Простые и сложные сигналы. База простого и сложного сигналов. Преимущества и недостатки сложного сигнала по сравнению с простым.

15. Простые и сложные сигналы. Методы формирования сложных сигналов.

## **2. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы студентов**

### **2.1 Рекомендации по освоению учебного материала по конспекту лекций и дополнительной литературе**

Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях. При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса; для расширения знаний по дисциплине целесообразно использовать Интернет-ресурсы.

Самостоятельную работу следует начинать с проработки конспекта, желательно в тот же день, когда проходила лекция. При этом следует исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, использовать различные способы выделений для повышения наглядности записей. При проработке материала необходимо постараться детально понять текст, вникнуть в его смысл. Для углубленного изучения материала целесообразно использовать рекомендуемую литературу, приведенную в разделе 3. Идеи и положения, по которым остались неясные вопросы, следует обсудить с преподавателем и другими студентами группы в ходе контактной работы.

### **2.2 Общие рекомендации по изучению вопросов, не вошедших в лекционный цикл**

При изучении подразделов, не вошедших в лекционный цикл или углубленной проработке отдельных вопросов дисциплины, основной формой самостоятельной работы является

чтение и конспектирование литературы, а также разбор примеров и решение рекомендованных задач.

Рекомендации по поиску и использованию литературных источников будут приведены в разделе 3. При самостоятельной работе с книгами целесообразно один или несколько раз прочесть рекомендуемые страницы литературных источников (до возникновения понимания основных идей), а затем ключевые положения осваиваемого материала законспектировать, кратко фиксируя взаимосвязи между ключевыми понятиями и положениями. Для имеющих значительный объем материалов целесообразно зафиксировать показательные цитаты (с указанием страниц). Оставшиеся непонятными понятия и ключевые формулы следует зафиксировать в лекционной тетради в виде карандашных набросков, уточнить их смысл в ходе контактной работы с преподавателем и затем зафиксировать в тетради уточненные определения и теоретические положения.

### **2.3 Рекомендации по подготовке к выполнению лабораторных работ и их защите**

Лабораторная работа – это проведение студентами с использованием приборов, технических приспособлений или вычислительной техники со специализированным программным обеспечением исследований, позволяющих получить наглядные результаты в изучаемой тематической области.

При подготовке к лабораторному занятию необходимо заранее изучить методические рекомендации по его проведению, обратить внимание на цель занятия, его направленность, проработать по конспекту лекций и предложенной литературе теоретические положения, объясняющие исследуемые явления и эффекты. Следует постараться найти ответы на основные вопросы для подготовки к занятию, выполнить домашнее задание к лабораторной работе (при его наличии), подготовить рекомендованные шаблоны протоколов испытаний.

После выполнения исследований необходимо произвести

самостоятельный критический анализ собранных данных, попытаться оценить их достоверность. Корректность сомнительных результатов следует сначала обсудить с коллегами по бригаде (при бригадном варианте проведения исследований), а при сохранении неясности – с преподавателем. После этого необходимо оформить результаты проведенных исследований, сформулировать выводы, подготовить ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы, и представить отчет по работе преподавателю для обсуждения и защиты результатов исследований.

### 3. Рекомендации по самостоятельному изучению отдельных разделов и вопросов дисциплины

Рекомендации по разделению часов самостоятельной работы студентов между разными видами занятий применительно к первому из семестров изучения дисциплины приведены в табл. 3.1, 3.2 и 3.3. Под типом СРС во всех таблицах понимается:

- 1) «Лекц.» – проработка учебного материала по конспекту лекций и дополнительной литературе;
- 2) «Лаб.р.» – подготовка к выполнению лабораторных работ и их защите;
- 3) «СИТ» – самостоятельное изучение темы с использованием основной и дополнительной литературы.

Таблица 3.1

Рекомендации по изучению раздела «Оптимальный приём радиосигналов и потенциальная помехоустойчивость систем связи»

Неделя	Тип СРС	Название темы (занятия) или изучаемый вопрос и рекомендуемая литература для СИТ	Объем, часы
1	Лекц.	Векторное представление сигналов. Геометрическое пространство сигналов.	1
2	Лекц.	Критерии качества приема сигналов.	1
2	Лаб.р.	Моделирование сигналов и помех	4
3	Лекц.	Обнаружение сигналов известной формы	1
4	Лекц.	Энергетическое обнаружение сигналов в условиях априорной неопределенности	1
4	СИТ	Обнаружение пакетов импульсов [3, с. 50-56]	4
5	Лекц.	Понятие идеального приёмника и потенциальной помехоустойчивости систем связи	1
6	Лекц.	Различение полностью известных сигналов. Когерентный приём радиосигналов	1

Продолжение табл. 3.1

6	СИТ	Оценка интенсивности фонового шума при энергетическом обнаружении сигналов в условиях априорной неопределенности [5, с. 54-76]	4
6	Лаб.р.	Энергетическое обнаружение сигналов и многоканальный энергетический приемник	4
7	Лекц.	Различение сигналов с неизвестной начальной фазой. Некогерентный приём радиосигналов	1
8	Лекц.	Расчет потенциальной помехоустойчивости для ансамблей, состоящих из двух сигналов (полностью известной формы и радиоимпульсов со случайной начальной фазой)	1
8	СИТ	Особенности приема сигналов с относительной фазовой манипуляцией [1, с. 142-146, 154-155]	4

Таблица 3.2

Рекомендации по изучению раздела «Особенности практической реализации приема радиосигналов»

Неделя	Тип СРС	Название темы (занятия) или изучаемый вопрос и рекомендуемая литература для СИТ	Объем, часы
9	Лекц.	Применение корреляционной обработки при приеме радиосигналов.	1
10	Лекц.	Применение согласованной фильтрации при приеме радиосигналов	1
10	СИТ	Классификация искажений сигналов, связанных с многолучевостью, и методов борьбы с ними [4, с. 275-280]	4

Продолжение табл. 3.2

10	Лаб.р.	Обнаружение сигналов известной формы	4
11	Лекц.	Квазиоптимальные фильтры; их достоинства и недостатки в сравнении с согласованными фильтрами	1
12	Лекц.	Виды замираний. Разнесенный приём при медленных дружных замираниях.	1
12	СИТ	Кодирование с разнесением во времени. Иные варианты разнесенного приема [4, с. 285-293]	4
13	Лекц.	Когерентный приём цепочек элементарных сигналов в многолучевом радиоканале	1
14	Лекц.	Оценка максимального правдоподобия последовательности информационных символов	1
14	СИТ	Алгоритм Витерби при когерентном приёме цепочек информационных символов [4, с. 296-304]	4
14	Лаб.р.	Различение сигналов известной формы	4
15	Лекц.	Алгоритм Витерби демодуляции гауссовской модуляции с минимальным сдвигом	1
16	Лекц.	Эквалайзер Витерби	1
16	СИТ	Применение ортогонального частотного разделения с мультиплексированием как мера борьбы с многолучевостью [4, с. 322-334]	4

Таблица 3.3

## Рекомендации по изучению раздела «Сложные сигналы и их применение»

Не- деля	Тип СРС	Название темы (занятия) или изучаемый вопрос и рекомендуемая литература для СИТ	Объем, часы
17	Лекц.	Требования к корреляционным характеристикам сигналов в различных радиотехнических системах.	1
17	СИТ	Свойства шумоподобных сигналов и псевдослучайных последовательностей [2, с. 57-70, 73-81; 4, с. 213-223]	4
18	Лекц.	Методы формирования сложных видео- и радиосигналов.	1
18	СИТ	Показатели эффективности сложных сигналов [2, 115-125; 4, с. 223-226]	4
18	Лаб.р.	Фильтрация сигналов неизвестной формы	4
19	Лекц.	Преимущества от использования в радиотехнических системах сложных сигналов.	1
19	СИТ	Анализ помехозащищенности ШПС сигналов и сигналов с ППРЧ [4, с. 226-236]	4
20	Лекц.	Особенности ансамблей сигналов, применяемых в современных системах связи и передачи данных	1
20	СИТ	Влияние взаимных и структурных помех [2, с. 125-135]	4

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов / Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. – М.: Связь, 1980. – 288 с.

2. Попов, В.Ф. Широкополосные и сверхширокополосные сигналы в системах мобильной связи и навигации: учеб. пособие / В.Ф. Попов – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 204 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/epd-reader?publicationId=58103>.

(дата обращения: 18.12.2021).

3. Радиотехнические системы: Учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин и др.; Под ред. Ю.М. Казаринова. – М., Высш. школа, 2002. – 496 с.

4. Волков Л.Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики / Л.Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.

5. Измерение занятости радиочастотного спектра в системах радиомониторинга: монография / А.Б. Токарев, Ю.С. Балашов, С.Ю. Белецкая, С.Н. Панычев, П.П. Чураков; под ред. А.Б. Токарева. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. – 227 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗУЧАЕМОЙ ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>4</b>
1.1 Цели и задачи дисциплины .....	4
1.2 Разделы, входящие в рабочую программу дисциплины.....	4
1.3 Формы итоговой аттестации .....	5
1.4 Типовые вопросы к экзамену .....	5
<b>2. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ .....</b>	<b>7</b>
2.1 Рекомендации по освоению учебного материала по конспекту лекций и дополнительной литературе .....	7
2.2 Общие рекомендации по изучению вопросов, не вошедших в лекционный цикл.....	7
2.3 Рекомендации по подготовке к выполнению лабораторных работ и их защите.....	8
<b>3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ И ВОПРОСОВ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>10</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>14</b>

# **ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по организации самостоятельной работы  
для студентов бакалавриата  
направления 11.03.01 «Радиотехника»  
очной и заочной форм обучения

**Составитель:**  
**Токарев Антон Борисович**

В авторской редакции

Компьютерный набор А. Б. Токарева

Подписано к изданию 08.02.2022.  
Уч.-изд. л. 0,9.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14