

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
системы телекоммуникаций и радиоэлектронной борьбы



/Аверина Л.И./  
31.01.2024г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.03.01 Цифровая обработка сигналов для задач**  
**радиомониторинга**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

*03.04.03 Радиофизика*

**2. Профиль подготовки/специализация:**

*Системы телекоммуникаций и радиоэлектронной борьбы*

**3. Квалификация выпускника: магистр**

**4. Форма обучения: очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: базовая кафедра системы телекоммуникаций и радиоэлектронной борьбы**

**6. Составители программы:**

*Артёмов М. Л., доктор технических наук, доцент*

**7. Рекомендована:**

*НМС физического факультета 30.08.2021, № протокола: 8*

**8. Учебный год: 2025/2026**

**Семестр(ы): 3**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цели и задачи курса заключаются в изложении методов цифровой обработки сигналов и особенностей их использования в аппаратуре радиомониторинга и формирования сигналов; подготовке студентов к применению данных методов при моделировании алгоритмов приема и обработки информации в аппаратуре радиомониторинга и формирования сигналов.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина является курсом по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений. Для успешного освоения её теоретической части студенты должны свободно владеть аппаратом математического анализа, теории вероятности, знать основы теории статистической радиотехники, теории радиотехнических цепей, теории цифровой обработки сигналов. Для освоения практических методов дисциплины студенты должны уметь использовать математические пакеты прикладных программ и пакеты схемотехнического моделирования радиоэлектронных устройств при анализе методов цифровой обработки сигналов и особенностей их использования в аппаратуре радиомониторинга и формирования сигналов.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях систем связи и телекоммуникаций	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций.	Знать: основы теории радиотехнических цепей, теории цифровой обработки сигналов  Уметь: рассчитывать и анализировать основные характеристики устройств цифровой обработки сигналов  Владеть: математическим аппаратом теории статистической радиотехники, позволяющим обрабатывать результаты радиотехнических измерений

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час – 2/72.

Форма промежуточной аттестации - *зачёт*.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		3		...
Аудиторные занятия	24	24		
в том числе:	лекции	12	12	
	практические	12	12	
	лабораторные			
Самостоятельная работа	48	48		
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – ___ час.)				
Итого:	72	72		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Особенности и преимущества цифровой обработки сигналов в аппаратуре радиомониторинга и формирования сигналов.	Задачи, решаемые с помощью аппаратуры радиомониторинга и формирования сигналов. Особенности построения аппаратуры. Примеры пространственно-многоканальных систем радиомониторинга, многоканальный обнаружитель-пеленгатор. Принципы и особенности формирования помеховых сигналов.
1.2	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре радиомониторинга.	Многоканальный прием и преобразование аналоговых сигналов в цифровые. Ключевые операции ЦОС. Синхронизация, дискретизация и фильтрация. Параметры частотно-временного представления данных. Роль весовых функций при спектральном анализе и их основные параметры. Оконная обработка.
1.3	Специализированные архитектуры и средства аппаратно-программной реализации ЦОС.	Аппаратные цифровые фильтры, процессоры БПФ. Масштабирование сигналов. Анализ параметров АЦП. Характеристики частотной избирательности.
1.4	Особенности переноса и преобразования спектров дискретных радиосигналов.	Методы переноса и преобразования спектров. Цифровое гетеродинирование. Квадратурная обработка узкополосных модулированных радиосигналов. Особенности калибровки и аттенюации сигналов в многоканальной системе радиомониторинга.
1.5	Особенности аппаратной реализации ЦОС на сигнальных процессорах	Функциональные устройства и интерфейс сигнальных процессоров ADSP. Система команд и структура программ сигнального процессора, специфика программирования ЦОС на языке ассемблера.
1.6	Особенности математической оптимизации алгоритмов ЦОС.	Постановка задачи оптимизации алгоритмов ЦОС. Основные способы оптимизации вычислительных ресурсов и повышения быстродействия. Основные этапы и примеры оптимизации алгоритмов ЦОС. Оптимизация реализации вычисления векторных и матричных математических объектов.
1.7	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре формирования сигналов.	Параметры помеховых сигналов. Особенности архитектуры формирования сигналов. Специфические особенности радиопередающих устройств. Фазированные антенные решетки.
<b>2. Практические занятия</b>		
2.1	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре радиомониторинга.	Примеры и практические аспекты реализации методов цифровой обработки сигналов в аппаратуре радиомониторинга.
2.2	Специализированные архитектуры и средства аппаратно-программной реализации ЦОС.	Функциональные устройства и интерфейс сигнальных процессоров ADSP. Система команд и структура программ сигнального процессора, специфика программирования ЦОС на языке ассемблера.
2.3	Способы пеленгования источников радиосигналов в системах радиомониторинга.	Примеры и практические аспекты реализации способов пеленгования и местоопределения источников радиоизлучения в аппаратуре радиомониторинга.
2.4	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре формирования сигналов.	Примеры и практические аспекты формирования сигналов в масштабе времени близком к реальному.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Особенности и преимущества цифровой обработки сигналов в аппаратуре радиомониторинга и формирования сигнала	1			4	5

	лов.					
2	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре радиомониторинга.	2	3		8	13
3	Специализированные архитектуры и средства аппаратно-программной реализации ЦОС.	2	3		8	13
4	Особенности переноса и преобразования спектров дискретных радиосигналов.	1			6	7
5	Особенности аппаратной реализации ЦОС на сигнальных процессорах	2	3		8	13
6	Особенности математической оптимизации алгоритмов ЦОС.	2			6	8
7	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре формирования сигналов.	2	3		8	13
	Итого:	12	12		48	72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины необходима регулярная и планомерная работа с конспектом лекций и литературой, выполнение практических и лабораторных работ.

**Лекции** представляет собой систематическое, последовательное изложение учебного материала. На лекциях от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. Качественный конспект должен легко восприниматься зрительно, в его тексте следует соблюдать абзацы, выделять заголовки, пронумеровать формулы, подчеркнуть термины. Рекомендуется записывать не каждое слово лектора, а постараться записать его основную мысль, используя понятные сокращения.

После окончания лекции нужно просматривать конспект для определения материала, вызывающего затруднения для понимания. После этого следует обратиться к рекомендуемой в настоящей программе литературе с целью углубленного изучения проблемного вопроса. В общем случае работа лишь с одним литературным источником часто является недостаточной для полного понимания, поэтому необходимо просматривать несколько источников для выбора того, который наиболее полно и доступно освещает изучаемый материал. В случае если проблемы с пониманием остались, необходимо обратиться к преподавателю на ближайшей лекции с заранее сформулированными вопросами.

Для успешного освоения лекционного курса рекомендуется регулярно повторять изученный материал, и проверять свои знания отвечая на контрольные вопросы в рекомендуемых учебных пособиях.

**Практические занятия** позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности практических занятий для подготовки к ним необходимо разобрать лекцию по соответствующей теме и ознакомиться с соответствующим разделом литературы. При выполнении лабораторных и практических работ необходимо обращать внимание на особенности функционирования исследуемых устройств. Подготовка к защите работ должна включать повторение лекционного материала и работу с предлагаемой учебной литературой. Перечень контрольных вопросов к защите приводится в методических указаниях к лабораторной работе. При оформлении пояснительной записки следует придерживаться правил ЕСКД.

**Самостоятельная работа** студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:

- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;
- выполнение домашних заданий;
- работа над темами для самостоятельного изучения;
- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;
- подготовка к практическим и лабораторным работам, зачетам и экзаменам.

Кроме литературы из основного списка рекомендуется самостоятельно использовать дополнительную. Независимо от вида учебника, работа с ним должна происходить в течение всего семестра. Эффективнее работать с учебником не после, а перед лекцией.

В процессе самостоятельной работы следует занимать активную позицию и пользоваться не только рекомендованной литературой, но и самостоятельно найденными источниками. Для проверки знания по изученной теме необходимо ответить на контрольные вопросы, выдаваемые преподавателем на лекциях в конце изучения соответствующего раздела. При изучении дисциплины рекомендуется использовать возможности сети интернет для получения дополнительной информации по рассматриваемой теме.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к онлайн-занятиям, ответственно подходить к выполнению заданий для самостоятельной работы.

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Айфичер Э., Джервис Б., Цифровая обработка сигналов. Практический подход. М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
2	Добыкин В.Д., Куприянов А.И., Пономарев В.Г., Шустов Л.Н., Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем. М.: Вузовская книга, 2007. – 468 с.
3	Кестер У. Аналого-цифровое преобразование. Москва: Техносфера, 2007. – 1016 с.
4	Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. Москва: Техносфера, 2010. – 328 с.
5	Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. Москва: Мир, 1990. – 265 с.
6	Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М.: «Радиотехника», 2004 – 432 с.
7	Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства/Под редакцией А.М. Рембовского. М: Горячая линия-Телеком, 2006. – 492 с.
8	Сергиенко А.Б., Цифровая обработка сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 758 с.
9	Скляр Б., Цифровая связь: Теоритические основы и практическое применение. М.: Вильямс, 2007. – 1104 с.
10	Уэйкерли Дж.Ф. Проектирование цифровых устройств. Москва: Постмаркет, 2002. – 544 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
11	Афонский А.А., Дьяконов В.П., Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики, М.: Солон-Пресс, 2009. – 248 с.
12	Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
13	Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
14	Вартанесян В.А. Радиоэлектронная разведка. М., Воениздат, 1975. – 255 с.
15	Лэм Г., Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация. Москва: Мир, 1982, – 592 с.
16	Мельников Ю.П., Попов С.В., Москва – Радиотехника, Радиотехническая оценка. Методы оценки эффективности местоопределения источников излучения. 2008, – 432 с.
17	Чан Т.Т. Высокоскоростная цифровая обработка сигналов и проектирование аналоговых систем, Москва: Техносфера, 2013. – 192 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
18	Электронная библиотека Зональной научной библиотеки Воронежского госуниверситета : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/zgate?Init+elib.xml,simple_elib.xml+rus">https://lib.vsu.ru/zgate?Init+elib.xml,simple_elib.xml+rus</a>
19	Электронно-библиотечная система «ЮПАИТ» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1457">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1457</a>
20	Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" : электронно-библиотечная система.

№ п/п	Ресурс
	– URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1308">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1308</a>
21	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1307">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1307</a>
22	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1306">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1306</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе образовательного портала "Электронный университет ВГУ" по адресу [edu.vsu.ru](http://edu.vsu.ru), а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Компьютер HP ProDeck 40065 DM/Монитор ЖК 22 Beng BL 2283 – 14 шт.

Набор UND R3 Starter Kit с Bluetooth модулем ZS-040 и контроллером – 15 шт.

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Особенности и преимущества цифровой обработки сигналов в аппаратуре радиомониторинга и формирования сигналов.	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	
2.	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре радиомониторинга.	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	Практические задания
3	Специализированные архитектуры и средства аппаратно-программной реализации ЦОС.	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	Практические задания
4	Особенности переноса и преобразования спектров дискретных радиосигналов.	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	
5	Особенности аппарат-	ПК-1.1	Владеет фун-	Практические задания

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	ной реализации ЦОС на сигнальных процессах		даментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	
6	Особенности математической оптимизации алгоритмов ЦОС.	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	
7	Особенности применения методов ЦОС в аппаратуре формирования сигналов.	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	Практические задания
Промежуточная аттестация форма контроля – зачёт				Перечень вопросов к зачёту

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: практические задания.

Перечень практических заданий:

1. Рассчитать параметры дискретизации узкополосного модулированного радиосигнала при приеме с помощью радиоприемного тракта с заданными характеристиками.
2. Рассчитать параметры аналогово-цифрового преобразования сигнала, обеспечивающие заданную разрешающую способность и динамический диапазон.
3. Определить весовую функцию обработки принимаемых данных, обеспечивающую заданные параметры.
4. Определить зависимость корреляции спектральных отсчетов от коэффициента перекрытия интервалов последовательных временных выборок.
4. Провести анализ увеличения отношения сигнал/шум при накоплении спектральных компонент сигналов.
5. Провести анализ возможности математической оптимизации расчета заданной целевой функции.
6. Провести анализ возможности программной оптимизации вычисления отсчетов заданной целевой функции.
7. Определить зависимость ПИК-фактора от порога ограничения уровня низкочастотного сигнала с заданной временной структурой.

Практические задания выполняются студентами как в аудиториях, так и самостоятельно. Результаты предоставляются преподавателю. Переход к выполнению следующего практического задания возможен только при условии успешной сдачи предыдущей.

За практическое задание студент получает оценку «зачтено», если может продемонстрировать процесс проектирования системы связи, расчёт её основных характеристик, дать физическое объяснение полученным результатам и внести в программу модификации по требованию преподавателя.

### 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы к зачёту, вопросы к экзамену.

Перечень вопросов к зачёту:

1. Задачи, решаемые с помощью аппаратуры радиомониторинга и формирования сигналов. Особенности построения аппаратуры.
2. Примеры пространственно-многоканальных систем радиомониторинга, многоканальный обнаружитель-пеленгатор.
3. Принципы и особенности формирования помеховых сигналов.
4. Многоканальный прием и преобразование аналоговых сигналов в цифровые. Ключевые операции ЦОС.
5. Синхронизация, дискретизация и фильтрация. Параметры частотно-временного представления данных.
6. Роль весовых функций при спектральном анализе и их основные параметры. Оконная обработка.
7. Аппаратные цифровые фильтры, процессоры БПФ. Масштабирование сигналов.
8. Анализ параметров АЦП. Характеристики частотной избирательности.
9. Методы переноса и преобразования спектров. Цифровое гетеродинирование.
10. Квадратурная обработка узкополосных модулированных радиосигналов.
11. Особенности калибровки и аттенюации сигналов в многоканальной системе радиомониторинга.
12. Функциональные устройства и интерфейс сигнальных процессоров ADSP.
13. Система команд и структура программ сигнального процессора, специфика программирования ЦОС на языке ассемблера.
14. Постановка задачи оптимизации алгоритмов ЦОС. Основные способы оптимизации вычислительных ресурсов и повышения быстродействия аппаратуры ЦОС.
15. Основные этапы и примеры оптимизации алгоритмов ЦОС.
16. Оптимизация реализации вычисления векторных и матричных математических объектов.
17. Особенности архитектуры аппаратуры формирования сигналов. Параметры помеховых сигналов.
18. Специфические особенности радиопередающих устройств.
19. Фазированные антенные решетки.

Зачёт проводится в виде устного ответа на вопросы, заданные преподавателем из списка вопросов к зачёту.

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом теории цифровой связи;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется 2-балльная шкала: «зачет», «незачет».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся владеет теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, частично умеет применять теоретические знания для решения практических задач</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачет</i>
<i>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач</i>	–	<i>Незачет</i>