

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ  
Декан РТФ

УТВЕРЖДАЮ /А.Н. Дедов/  
(Ф.И.О. декана (директора института))

14.02.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**С.1.2.16 Современные радиолокационные приемопередатчики**

*(код и наименование дисциплины по учебному плану)*

Направление подготовки  
(специальность)

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Квалификация выпускника

Специалист

*(бакалавр/магистр/специалист)*

Специализация

Радиолокационные системы и комплексы

Курс 4, 5

Семестр 8, 9

**Распределение учебного времени**

Трудоемкость по учебному плану	324 / 9	часов/зачетных единиц
Лекции	64	часов
Лабораторные работы	-	часов
Практические занятия	64	часов
Иная контактная работа	-	часов
Всего контактной работы (без учета экз.)	128	часов
Контактная работа по экзамену	6	часов
Курсовой проект (работа)	9	семестр
Самостоятельная работа обучающихся (без учета экз.)	160	часов
Самостоятельная работа по подготовке к экзамену	30	часов
Экзамен	9	семестр
Зачет	8	семестр
БРК, ДЗ	-	семестр

(год)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Программу составили:

доцент	РТиМБС	СОГЛАСОВАНО	С.А. Охотников
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)
доцент с ученой степенью кандидата наук	РТиМБС	СОГЛАСОВАНО	С.А. Охотников
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры, за которой закреплена дисциплина  
Кафедра радиотехнических и медико-биологических систем

(наименование кафедры)			
22.01.2024	протокол №	6	
(дата)			
Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Р.Г. Хафизов	
		(И.О. Фамилия)	

Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом (институтом), выпускающей(ими) кафедрой(ами).

СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Р.Г. Хафизов
		(И.О. Фамилия)

Председатель методической комиссии факультета (института), в который входит выпускающая кафедра

СОГЛАСОВАНО	А.Н. Дедов
	(И.О. Фамилия)

Эксперт(ы): Власов Никита Михайлович, заместитель главного конструктора АО  
Марийский машиностроительный завод - заместитель начальника НТЦ «Коралл»

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 11.03.2024 г.

Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /Т.А. Смирнова/

## Раздел 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является достижение планируемых результатов обучения, соответствующих установленным в ОПОП индикаторам достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
1. ПК-2 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	ПК-2.1 Знать принципы проектирования радиоэлектронных систем и комплексов	<b>знания:</b> принципов проектирования радиоэлектронных систем и комплексов <b>умения:</b> <b>навыки:</b>
	ПК-2.2 Уметь проводить расчеты характеристик радиоэлектронных устройств, радиоэлектронных	<b>знания:</b> <b>умения:</b> проводить расчеты характеристик радиоэлектронных устройств, радиоэлектронных систем и комплексов <b>навыки:</b>
	ПК-2.3 Владеть навыками разработки принципиальных схем РЭУ с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	<b>знания:</b> <b>умения:</b> <b>навыки:</b> разработки принципиальных схем РЭУ с применением современных САПР и пакетов прикладных программ
2. ПК-3 Способен осуществлять проектирование конструкций электронных средств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	ПК-3.1 Знать принципы проектирования конструкций радиоэлектронных средств	<b>знания:</b> принципов проектирования конструкций радиоэлектронных средств <b>умения:</b> <b>навыки:</b>
	ПК-3.2 Уметь использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации	<b>знания:</b> <b>умения:</b> использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации <b>навыки:</b>
	ПК-3.3 Владеть навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами	<b>знания:</b> <b>умения:</b> <b>навыки:</b> оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами

## Раздел 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений

ОПОП.

Дисциплина является обязательной

Для продолжения формирования заявленных компетенций необходимы знания предшествующих дисциплин: Радиоавтоматика (ПК-2), Радиопередающие устройства (ПК-2), Радиоприемные устройства (ПК-2), Узлы и элементы радиотехнических систем (ПК-2), Компьютерное проектирование и моделирование радиоэлектронных средств (ПК-3)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих государственной итоговой аттестации в форме: Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-2), Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-3)

### Раздел 3. ОПИСАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для формирования заявленных компетенций используются методологические технологии, реализующие деятельностный, личностно-ориентированный, практико-ориентированный подходы.

Основными стратегическими технологиями являются: лекционные занятия, практические занятия

На достижение конкретных целей обучения направлены применяемые тактические технологии: задания, классическая лекция, лекция с элементами мозгового штурма

### Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 8 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>Теоретические основы радиолокационных систем</b>	<b>48</b>	ПК-2, ПК-3
Лекция. Возникновение, распространение и отражение ЭМ колебаний. Канализация и концентрация ЭМ энергии. Эффект Доплера. Поверхностный эффект.	2	
Лекция. Эффективная поверхность рассеяния цели. Уравнение дальности и его анализ. Радиолокационные сигналы: зондирующий, отраженный, принятый	2	
Лекция. Элементы теории обработки сигналов. Адекватность моделей сигналов в виде непрерывных функций, вектор и точек в метрическом пространстве. Непрерывный сигнал как точка в бесконечном пространстве. теорема Котельникова. Обобщение декартовой системы координат.	2	
Лекция. Вычисление меры схожести двух сигналов как базовая операция обработки сигналов. Скалярное произведение векторов как мера схожести сигналов в векторном виде. Ортогональность сигналов. Ортогональный базис. Разложение сигналов. Косоугольный базис. Фильтрация сигналов. Авто и взаимнокорреляционные функции сигналов.	2	
Лекция. Шум как случайный процесс. Нормальный закон распределения мгновенных значений шум. Аддитивная модель зашумленного сигнала.	4	
Практическое занятие. Исследование передающей части РЛС «FURUNO»	6	

Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение подготовка к опросу на лекциях; подготовка к защите практической работы; выполнение домашнего задания	30	ПК-2, ПК-3
<b>Обнаружение радиолокационных сигналов</b>	<b>45</b>	
Лекция. Постановка задачи обнаружения сигналов. Обнаружение сигналов как задача проверки гипотез. Оптимальное обнаружение. Критерий минимального среднего риска. Синтез обнаружителя полностью известного сигнала. Функция правдоподобия. Формирование отношения правдоподобия в обнаружителе. Принятие решения об обнаружении сигналов. Пороговая процедура.	4	
Лекция. Эффективность работы обнаружителя. Правильное обнаружение. Пропуск цели. Ложная тревога. Характеристики обнаружения. Построение характеристик обнаружения на базе согласованных фильтров. Особенности алгоритмов обнаружения радиолокационных сигналов со случайной начальной фазой и со случайной амплитудой. Пороговая мощность. Чувствительность РЛП. Потенциал радиолокационной станции	4	
Лекция. Обнаружение бинарно-квантованных радиолокационных сигналов. Марковская модель обнаружителя. Построение матрицы вероятностей переходов простой цепи. Критерии обнаружения бинарно-квантованных сигналов. Расчет вероятностей правильного и ложного обнаружений зашумленных эхосигналов на базе марковской модели	4	
Практическое занятие. Исследование антенного устройства судовой навигационной РЛС «Дон»	4	
Практическое занятие. Исследование передатчика судовой навигационной РЛС «Дон»	4	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение подготовка к опросу на лекциях; подготовка к защите практической работы; выполнение домашнего задания	25	ПК-2, ПК-3
<b>Сжатие радиолокационных сигналов</b>	<b>51</b>	
Лекция. Сложные сигналы и методы их получения	2	
Лекция. Системы отсчета, связанные с векторными сигналами, задающими ядро линейного фильтра и фильтруемый сигнал. Собственная система отсчета эхосигнала. Задача получения сжатого эхосигнала как задача оценки координат векторного сигнала. Примеры алгоритмов сжатия эхосигналов.	6	
Практическое занятие. Изучение работы передающей части РЛС П-8	12	
Практическое занятие. Изучение работы антенно-волноводная система РЛС 1РЛ136	6	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение подготовка к опросу на лекциях; подготовка к защите практической работы; выполнение домашнего задания	25	
Иная контактная работа: зачет, консультации	0	

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>Сжатие радиолокационных сигналов</b>	<b>51</b>	ПК-2, ПК-3
Лекция. Частотный коэффициент передачи согласованного фильтра (СФ). Амплитудно-частотная характеристика СФ. Фазочастотная характеристика СФ.	4	
Лекция. Механизм работы согласованного фильтра. Согласованный фильтр как взаимнокорреляционное устройство. Импульсная характеристика СФ.	6	
Лекция. Элементная база СФ. Усилитель промежуточной частоты. РЛП как квазисогласованный фильтр. Синтез СФ по их импульсной характеристике.	6	
Практическое занятие. Конструкция РЛС 1РЛ136. Развертывание РЛС	10	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение подготовка к опросу на лекциях; подготовка к защите практической работы; выполнение домашнего задания	25	
<b>Распознавание и оценка параметров радиолокационных сигналов</b>	<b>43</b>	ПК-2, ПК-3
Лекция. Постановка задачи линейных преобразований сигналов. Оценка параметров зашумленного сигнала: масштабирования, угла поворота, задержки.	4	
Лекция. Постановка задачи распознавания сигналов. Распознавание полностью известных сигналов. Распознавание сигналов с неизвестным углом поворота и задержки. Общие требования к сигналам при их распознавании.	4	
Практическое занятие. Проверка РЛС 1РЛ136 на работоспособность	10	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение подготовка к опросу на лекциях; подготовка к защите практической работы; выполнение домашнего задания	25	
<b>Особенности построения и работы радиолокационных приемников. Приемная система станции разведки 1РЛ136</b>	<b>50</b>	ПК-2, ПК-3
Лекция. Структура РЛП импульсного дальномера. Выбор длительности зондирующего импульса. Разрешение импульсных сигналов. Мертвая зона импульсного дальномера. Согласованная фильтрация импульсных эхо-сигналов. Выбор частоты повторения при излучении зондирующих импульсов. Неоднозначность измерения дальности при импульсном методе дальнометрии	4	
Лекция. Критерии выбора частоты зондирующего импульса. Частота излучения как функция точности измерения расстояния до цели. Выбор частоты излучения в зависимости от требуемой ширины диаграммы направленности при фиксированных размерах антенны. Окна прозрачности в СВЧ диапазоне	4	
Практическое занятие. Передающая система РЛС 1РЛ136	6	
Практическое занятие. Антенно-волноводная система РЛС 1РЛ136	6	

Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение курсового проекта/работы подготовка к опросу на лекциях; подготовка к защите лабораторной работы; выполнение курсовой работы выполнение домашнего задания	30	
выполнение курсового проекта/работы	0	
Иная контактная работа: защита курсового проекта/работы, консультации	0	
Подготовка к экзамену	30	
Проведение экзамена	6	

## Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой, ее структурой и содержанием разделов. Учебный материал структурирован, изучение дисциплины осуществляется в тематической последовательности. **Занятия лекционного типа** дают систематизированные знания по дисциплине, концентрируют внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала; обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть проблемы, явления или процесса; зафиксировать выводы и практические рекомендации. Содержание **самостоятельной работы** определяется рабочей программой дисциплины, оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным средством осуществления самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к образовательной программе, рабочей программе дисциплины, к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Изучение дисциплины включает выполнение курсового проекта. Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе. Формой промежуточной аттестации по дисциплине является зачёт, экзамен; по курсовому

## Раздел 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебно-методическое обеспечение

№№ п/п	Список используемой литературы	Количество экземпляров печатных изданий, имеющих в библиотеке, или электронный адрес издания (ресурса) в сети Интернет
<b>УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ</b>		
1.	Фурман, Яков Абрамович. Современные средства навигации летательных аппаратов [Текст] : учеб. пособие / Я. А. Фурман, Е. А. Зарницына; М-во образования и науки РФ, ГОУ ВПО "Мар. техн. ун-т". Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. - 135 с. ISBN 978-5-8158-0847-8. Экземпляры: всего 21.	21 / <a href="https://portal.volgatech.net/books/Furman_sovremennye_sredstva_navigacii.pdf">https://portal.volgatech.net/books/Furman_sovremennye_sredstva_navigacii.pdf</a>

2.	Дудник, Павел Иванович. Многофункциональные радиолокационные системы [Текст] : [учеб. пособие по специальностям "Радиотехника", "Радиоэлектрон. системы", "Средства радиоэлектрон. борьбы" направления подгот. "Радиотехника"] / [П. И. Дудник, А. Р. Ильчук, Б. Г. Татарский] ; под ред. Б. Г. Татарского. М.: ДРОФА, 2007. - 282 с. ISBN 978-5-358-001961-1. Экземпляры: всего 12.	12
3.	Динамика радиоэлектроники - 2 [Текст] / [Авдонин Б. Н. и др.] ; под общ. ред. Ю. И. Борисова. М.: Техносфера, 2008. - 374 с. ISBN 978-5-94836-195-6. Экземпляры: всего 15.	15
4.	Динамика радиоэлектроники [Текст] / [Боев Сергей Федотович и др.] ; под общ. ред. Ю. И. Борисова. М.: Техносфера, 2007. - 399, [1] с. ISBN 978-5-94836-142-0. Экземпляры: всего 15.	15
5.	Бакулев, Петр Александрович. Радиолокационные системы [Текст] : учеб. для вузов по специальности "Радиоэлектрон. системы" направления подгот. дипломиров. специалистов "Радиотехника" / П. А. Бакулев. М.: Радиотехника, 2004. - 319 с. ISBN 5-93108-027-9. Экземпляры: всего 49.	49
6.	Проектирование радиопередающих устройств [Текст] : [Учеб. пособие для студентов вузов связи по спец. 23.07] / [В.В.Шахгильдян, В.А.Власов, В.Б.Козырев и др.]; Под ред. В.В.Шахгильдяна. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1993. - 512 с. ISBN 5-256-01025-5. Экземпляры: всего 17.	17
7.	Устройства приема и обработки сигналов [Текст] : метод. указания к выполнению курсового проекта для студентов специальностей 200700, 201500, 552500 / [сост. : А. Н. Громыко, М. И. Баистракова, А. Ю. Чернышев]. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. - 19 с. Экземпляры: всего 91.	91
8.	Колосовский, Евгений Анатольевич. Устройства приема и обработки сигналов [Текст] : [учеб. пособие по специальности 200700 "Радиотехника" направления подгот. 654200 "Радиотехника"] / Е. А. Колосовский. М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 455 с. ISBN 5-93517-264-X. Экземпляры: всего 5.	5
9.	Дворников, С. В. Устройства приема и обработки сигналов [Электронный ресурс] / Дворников С. В., Крячко А. Ф., Мичурин С. В. Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 512 с. ISBN 978-5-8114-4243-0.	<a href="https://e.lanbook.com/book/133898">https://e.lanbook.com/book/133898</a>

## 6.2. Материально-техническая база и программное обеспечение

№№ п/п	Аудитории для проведения учебных занятий, самостоятельной работы и проведения государственной итоговой аттестации	Перечень основного оборудования	Программное обеспечение
1.	401 (III)	Вольтметр В7-16 (1), Генератор Г4-	Microsoft Windows

	102A (1), Генератор сигналов универсальный DG 1022 (2), Генератор сигналов универсальный DG 4102 (2), ИЗДЕЛИЕ ВОЛГА (1), ИЗДЕЛИЕ ДОН (1), Измеритель RLC AM-3123 (1), Измеритель уровня электромагнитного фона АТТ-2593 (1), ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗ Ф2-34 (1), Источник питания DP 1308A (2), КВ-передатчик "Бриг" (1), Моноблок DELL (1), Мультиметр DM3058E (1), Мультиметр AM-1083 (5), Оборудование для приема спутникового сигнала (1), Осциллограф цифровой DS 1052E (5), Осциллограф цифровой DS 4054 (1), Проектор мультимедийный Hitachi CP-X 2510 (1), Радар Фуруно M1715 (1), РАДИОПЕРЕДАТ ПСД025 (1), ФАЗОИЗМЕРИТЕЛЬ Ф2-34 (1), Комплект учебной мебели (1)	Enterprise, Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
--	---	--

## Раздел 7. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ/ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Критерии оценивания индикаторов достижения компетенций направлены на:

- усвоение теоретического материала (объем знаний, глубина усвоения), предусмотренного рабочей программой;
- умение излагать материал (четкость, грамотность изложения материала, точность и полнота воспроизведения учебного материала);
- умение применять теоретические знания при решении практических заданий.

Шкала оценивания представлена ниже.

Уровень сформированности элементов компетенции	Критерии оценивания	Шкала оценивания
Пороговый уровень	Обучающийся имеет знания основного материала, проявляет умение логично его излагать, но может допускать неточности в изложении материала, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в выполнении практических заданий.	удовлетворительно
Продвинутый уровень	Обучающийся твердо знает программный материал, излагает его грамотно и по существу, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения	хорошо
Высокий уровень	Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, грамотно и логически стройно его излагает, дает исчерпывающие ответы на поставленные вопросы. В	отлично

	ответе тесно увязывается теория с практикой, при этом обучающийся не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, показывает знакомство с монографической литературой, периодическими изданиями, правильно обосновывает принятые решения, свободно владеет разносторонними навыками, приемами выполнения практических работ	
--	---	--

### 7.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины (модуля) и производится с применением технологии рейтингового контроля в соответствии с технологической картой дисциплины. Порядок составления технологической карты и алгоритм проведения процедуры оценивания видов деятельности обучающихся, направленных на освоение знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, по накопительной системе в баллах устанавливается положением о системе РИТМ в ФГБОУ ВО «ПГТУ»

### 7.2. Промежуточная аттестация обучающихся

Промежуточная аттестация обучающихся направлена на оценивание результатов обучения по дисциплине (модулю) и проводится с использованием фондов оценочных средств.

Примеры типовых контрольных заданий из базы фонда оценочных средств по образовательной программе.

Задачи:

Вариант № 1.

Задача № 1 Найти мощность в импульсе, требуемую для того, чтобы цель имеющая ЭПР, равную  $1 \text{ м}^2$ , обнаруживалась в свободном пространстве на дальности  $= 500 \text{ км}$  при  $G_a = 3000$ ,  $\lambda = 25 \text{ см}$ ,  $P_{\text{пр min}}$  на  $100 \text{ дБ}$  ниже  $1 \text{ мВт}$ .

Задача № 2 Определить коэффициент различимости при приеме радиолокационных сигналов, если чувствительность приемника равна  $100 \text{ дБ/мВт}$ , его шумовая температура  $200 \text{ К}$ , а полоса пропускания (эффективная)  $5 \text{ МГц}$ .

Задача № 3 В РЛС используются импульсы  $t_{\text{и}} = 1 \text{ мкс}$  с прямоугольной огибающей антенна с шириной луча  $\theta_{0,5} = 4^\circ$ . Цель наблюдается на индикаторе «дальность-азимут» в прямоугольных координатах. Как следует выбрать предельные значения шкал дальности  $D_{\text{шк}}$  и азимута  $\Phi_{\text{шк}}$  аз, чтобы обеспечивались реальные разрешающие способности  $\delta(D) = 200 \text{ м}$  и  $\delta(\text{фаз}) = 1.5^\circ$  ю Качество фокусировки трубки принять  $Q_{\text{ф}} = 400$ .

Задача № 4 Когерентно импульсная РЛС наблюдения за самолетами работает на волнах длиной  $10 \text{ см}$  при длительности импульсов  $20 \text{ мкс}$ . Обнаруживает ли РЛС самолет, движущийся прямо на нее с радиальной скоростью  $8 \text{ км/сек}$ . Если полоса пропускания приемника согласована с длительностью излучаемых импульсов? Задача № 5 Определить во сколько раз может быть снижена мощность передатчика РЛС при переходе из режима работы с пассивным ответом в режим работы с активным ответом при сохранении постоянной дальности действия  $200 \text{ км}$ , если чувствительность приемника ответчика ниже чувствительности приемника запросчика на  $50 \text{ дБ}$ , а эффективная площадь антенны ответчика меньше эффективной площади антенны запросчика в  $200$  раз. При работе РЛС в режиме пассивным ответом ЭОП цели составляет  $20 \text{ м}^2$ .

Вариант № 2

Задача № 1 Определить дальность действия РЛС с активным ответом и чувствительность приемника ответчика, если мощность передатчика запросчика и ответчика составляет соответственно  $100 \text{ кВт}$  и  $4,5$

Вт, чувствительность приемника запросчика 90 дБ/мВт, коэффициент усиления антенны запросчика 20, а эффективная площадь антенны ответчика 0,05 м<sup>2</sup> (принимается равенство дальностей действия по линиям запроса и ответа).

Задача № 2 Для обеспечения заданной дальности действия РЛС длительность зондирующего импульса должна быть  $t_i = 10$  мкс. Определить коэффициент сжатия сигнала  $m$ , необходимый для обеспечения потенциальной разрешающей способности по дальности  $\delta D_p = 30$  м. Какова при этом должна быть девиация частоты?

Задача № 3 Построить пеленгационную характеристику фазового угломерного устройства (по выходу фазового детектора) при изменении угла цели в пределах от 0 до 25°. Длина волны равна 10,2 см, расстояние между антеннами 58 см. Указать диапазон однозначности пеленгатора.

Задача № 4 Определить требуемое значение отношения сигнал/шум и коэффициент различимости, если нужно обеспечить обнаружение цели в когерентно-импульсной РЛС при  $R_{по} = 0,95$  и  $R_{лт} = 10^{-4}$  по пачке из 1500 импульсов. Произведение коэффициентов потерь принять равным 12. Задача № 5 Сигнал с полностью известными параметрами обнаруживается с вероятностями  $R_{по} = 0,9$  и  $R_{лт} = 10^{-5}$ . Найти потенциальную среднюю квадратическую ошибку измерения дальности, если сигнал имеет вид одиночного импульса гауссовской формы с  $t_i = 3$  мкс.

### Вариант № 3

Задача № 1 Обнаруживается точно известный сигнал с  $R_{по} = 0,9$  и  $R_{лт} = 10^{-3}$ . Как следует выбрать ширину луча антенны, чтобы при пеленгации методом максимума иметь потенциальную среднюю квадратическую ошибку измерения угла не более 3' минут.

Задача № 2 Для обеспечения заданной дальности действия длительность зондирующих радиоимпульсов с колоколообразной огибающей (имеющих эффективную ширину спектра  $\Delta f_{эф} = 1,66/$ ;  $\tau_{0,5} = 20$  мкс. Определить необходимое значение коэффициента сжатия радиоимпульса с ЛЧМ, при котором потенциальная средняя квадратическая ошибка измерения дальности  $\sigma_p(D) = 5$  м, если отношение сигнал/шум по мощности на входе фильтра сжатия  $2E_c/N_0 = 10$ .

Задача № 3 Определить суммарные потери ( $\Pi_{\Sigma}$ ) в импульсной некогерентной радиолокационной станции при приеме 20 импульсов и использовании в качестве накопителя индикатора кругового обзора. Резонансная характеристика усилителя промежуточной частоты гауссовской формы, а полоса пропускания в три раза шире оптимальной ( $\Delta f_{опт} = 1/t_i$ ); произведение скорости развертки на длительность импульса ( $V_{разв} t_i$ ) в 10 раз меньше диаметра пятна ( $d_p$ ). Излучаются импульсы прямоугольной формы.

Задача № 4 Когерентно-импульсная РЛС работает на частоте 3000 МГц. Частота повторения импульсов 1000 имп/с. Определить значение слепых радиальных скоростей.

Задача № 5 Найти максимальную высоту действия радиовысотомера, имеющего конический луч с круглым сечением, при диффузной поверхности с коэффициентом обратного отражения  $\gamma_0 = -15$  дБ, непрерывном сигнале средней мощностью  $P_{ср} = 1$  Вт,  $\lambda = 7$  см и чувствительности приемника 80 дБ по отношению к 1 мВт.

### Вариант № 4

Задача № 1 Бортовой ответчик имеет мощность передатчика 2 Вт, чувствительность приемника 10<sup>-7</sup> Вт и работает на частоте 1000 МГц. Определить мощность передатчика запросчика, если запросчик работает на частоте 1060 МГц, а чувствительность его приемника 100 дБ/мВт (принимается равенство дальностей по каналам запроса и ответа).

Задача № 2 Оценить насколько незнание начальной фазы сигнала заставляет увеличить отношение сигнал/шум при  $R_{по} = 0,5$  и  $R_{лт} = 0,1$ , а также при  $R_{по} = 0,99$  и  $R_{лт} = 10^{-3}$ .

Задача № 3 В РЛС применяются отдельные антенны: передающая с коэффициентом усиления  $G_a = 1000$  и приемная с эффективной площадью  $S_a = 2$  м, если мощность в импульсе  $P_i = 200$  кВт, чувствительность приемника  $R_p \min$  на 92 дБ ниже 1 мВт.

Задача № 4 Определить для когерентно-импульсной РЛС с простым фазовым детектором минимальную

радиальную скорость цели, при которой по крайней мере один раз за длительность пачки чувствительность системы СДЦ уменьшается до нулевой («слепая» фаза), если число импульсов  $N = 10$ , частота повторения  $F_p = 500$  имп/с, длина волны  $\lambda = 10$  см. Задача № 5 Определить потенциальную точность измерения дальности, если отраженный импульс имеет колоколообразную форму при длительности импульса по уровню 0,5 от максимума  $\tau_{0,5} = 1$  мкс и отношении сигнал/шум  $2E_c/N_0 = 9$ .

#### Вариант № 5

Задача № 1 Определить дальность действия запросчика в направлении бокового лепестка диаграммы направленности, величина которого на 20 дБ ниже уровня основного лепестка, если дальность действия запросчика по основному лепестку диаграммы направленности составляет 400 км.

Задача № 2 Определить требуемый сдвиг фаз в фазовращателях плоской фазированной антенной решетки, для обеспечения отклонения луча в горизонтальной плоскости на  $5^\circ$ , если расстояние между излучателями равно 75 см, длина волны 25 см.

Задача № 3 Найти ослабление сигнала, отраженного от цели, расположенной на расстоянии 200 км, только за счет затухания в дожде средней интенсивности ( $I = 10$  мм/час) вдоль всей трассы для  $\lambda = 10$  и 23 см ( $\alpha/I$  соответственно  $3 \times 10^{-7}$  и  $5 \times 10^{-7}$  дБ/км/мм/ч).

Задача № 4 Определить степень уменьшения пороговой энергии для некогерентного накопителя при переходе от одного импульса к пачке из  $N = 10$  и  $N = 100$  импульсов при вероятности правильного обнаружения  $P_{по} = 0,5$  и вероятности ложной тревоги  $P_{лт} = 10^{-7}$ .

Задача № 5 Радиолокационная станция имеет разрешающую способность по угловым координатам  $\delta(\text{фаз}) = \delta(\text{фум}) = \delta(\varphi) = 4^\circ$ . Определить максимальную дальность наблюдения, при которой самолет, летящий в направлении на РЛС, перестает быть для нее точечной целью.

#### Вариант № 6.

Задача № 1. Импульсная РЛС с сектором обзора  $\pm 100^\circ$  излучает зондирующий сигнал мощностью 10 кВт в импульсе при длительности импульса 2 мкс и частоте повторения 400 имп/с. Определить энергию сигнала, излучаемого в направлении на цель, если частота сканирования антенны составляет 60 сканир/мин, а ширина диаграммы направленности 30. Форму зондирующего импульса и диаграмму направленности антенны считать прямоугольными.

Задача № 2. Определить во сколько раз максимальная эффективная, отражающая поверхность трехгранного уголкового отражателя, больше, чем площадь раскрытия этого отражателя при отношении длины ребра к длине волны, равно 10.

Задача № 3. Определить степень уменьшения пороговой энергии для некогерентного накопителя при переходе от одного импульса к пачке из  $N = 10$  и  $N = 100$  импульсов при вероятности обнаружения  $P_{по} = 0,5$  и вероятности ложной тревоги  $P_{лт} = 10^{-10}$ .

Задача № 4. При модернизации РЛС размеры антенны увеличились в 1,34 раза, а чувствительность приемника повысилась на 2 дБ. Во сколько раз возрастет дальность?

Задача № 5. Во сколько раз изменится дальность действия РЛС при переходе с пассивного ответа в режим с активным ответом, если импульсная мощность передатчика запросчика составляет 1 кВт, чувствительность приемника запросчика составляет 10-12 Вт, длина волны запросчика 30 см, импульсная мощность передатчика ответчика 10 Вт? При работе РЛС в режиме с пассивным ответом ЭОП цели составляла 10 м<sup>2</sup>. Коэффициент усиления антенны ответчика 1. Какова при этих условиях чувствительность приемника ответчика, если полагать, что запрос и ответ производятся на одной и той же частоте? Дальность действия по линии запроса и ответа равны друг другу.

#### Вариант № 7.

Задача № 1. Определить энергию в импульсе и пиковую мощность прямоугольного импульса, если средняя мощность равна 8 Вт, а длительность импульса 2 мкс?

Задача № 2. Определите максимальную частоту вторичных доплеровских биений при длине волны РЛС 3 см, ширине луча 30, наклоне луча вниз относительно плоскости горизонта на  $60^\circ$ , путевой скорости 720

км/ч при отклонении луча в горизонтальной плоскости относительно линии пути на 0° и 300°.

Задача № 3. Выбрать оптимальное значение порогового числа импульсов при двукратном накоплении по методу «K из N» для  $N = 10$ , при котором для заданных значений вероятностей обнаружения  $P_{\text{по}}$  и  $P_{\text{лт}}$  достигается наивысшая чувствительность приемника.

Задача № 4. Определить отношение дальности действия РЛС при когерентном и некогерентном способах обработки. Во сколько раз нужно в этих случаях увеличить число импульсов в пачке, с прямоугольной огибающей для повышения дальности вдвое?

Задача № 5. Определить необходимые значения мощности передатчика и чувствительности приемника ответчика, для которых при переходе РЛС из режима работы с пассивным ответом по цели с ЭОП 10 м<sup>2</sup> в режим работы с активным ответом дальность действия возросла в два раза. Мощность передатчика запросчика 500 кВт, чувствительность его приемника 10-12 Вт. Запрос и ответ проводятся на одной и той же длине волны 30 см. Коэффициент усиления антенны запросчика 1.

Вариант № 8.

Задача № 1. Импульсная РЛС имеет дальность действия 300 км. Как следует выбрать частоту повторения, если: а) временем обратного хода развертки можно пренебречь; б) время обратного хода развертки составляет 25% от периода повторения.

Задача № 2. Бортовая РЛС на частоте 10 ГГц при скорости полета низколетящего самолета над морем со скоростью 360 км/ч обнаружила корабль, уходящий со скоростью 72 км/ч под углом 60° к курсу самолета. Найти доплеровский сдвиг частоты отраженного сигнала.

Задача № 3. Определить число элементов задержки на период повторения  $T_{\text{п}}$ , требуемых для построения программного обнаружителя методом «N из N» при  $N = 5$  и числе каналов дальности 50.

Задача № 4. Что произойдет с дальностью РЛС, если при прочих равных параметрах длительность импульса возрастает с 0,5 до 5 мкс, а полоса пропускания приемника в обоих случаях оптимальна?

Задача № 5. Иногда используют совмещенные системы с активным ответом. Когда наземная РЛС с пассивным ответом является запросчиком системы с активным ответом. При этом ответные сигналы должны приниматься с той же максимальной дальностью, что и отраженные. Определить мощность передатчика и чувствительность приемника ответчика, если мощность передатчика запросчика 100 кВт, чувствительность приемника запросчика 10-11 Вт, эффективная отражающая площадь цели 20 м<sup>2</sup>, коэффициент усиления антенны запросчика 1, а запрос и ответ производятся на одной и той же длине волны 10 см. Дальность действия по линии запроса и ответа равны друг другу.

Вариант № 9.

Задача № 1. Импульсная РЛС имеет частоту зондирующих сигналов 2500 имп/с. Время обратного хода развертки составляет 25% от длительности развертки. Определить интервалы дальности, на которых отсутствует возможность обнаружения целей.

Задача № 2. Бортовая РЛС на частоте 10 ГГц при скорости полета самолета 470 км/ч обнаружила встречный самолет, имеющий скорость 800 км/ч. Определить доплеровский сдвиг частоты в отраженном сигнале.

Задача № 3. Во сколько раз чувствительность приемника РЛС по мощности должна быть выше, чем чувствительность приемника связной радиостанции для обеспечения одной и той же дальности действия (при одинаковой мощности передатчика и параметрах антенн)?

Задача № 4. Определить эффективную отражающую поверхность  $S_{\text{эфф}}$  для случая наблюдения земной поверхности с помощью метеонавигационной РЛС импульсного типа, задавшись данными:  $l = 3$  см;  $t_{\text{и}} = 0,5$  мкс; длительность наблюдаемого участка – 100 км; высота полета – 9 км; коэффициент ограничения  $K_{\text{о}} = -20$  дБ.

Задача № 5. Самолетная панорамная РЛС кругового обзора имеет ширину диаграммы направленности  $\varphi_{0,5} = 30^\circ$ ,  $t_{\text{и}} = 1$  мкс. Определить размеры отметки от цели, расположенной вдоль оси самолета на расстоянии  $D = 25$  км, имеющей в радиальном и тангенциальном направлениях длину 500 м, если высота полета  $H =$

10 км. РЛС работает в двух режимах: без задержки начала развертки и с задержкой начала развертки на  $D_0 = 20$  км. Рабочий диаметр экрана  $dэ = 120$  мм, шкала дальности  $Dшк = 30$  км, диаметр пятна ЭЛТ  $dп = 0,5$  мм

#### Тема 1.

1. Какой метод радиолокации применяется в системах опознавания государственной принадлежности?

- метод пассивной радиолокации
- метод активной радиолокации с активным ответом
- метод активной радиолокации с пассивным ответом
- не знаю

2. Какую координату измеряют по времени запаздывания?

- дальность
- угол места
- радиальную скорость
- не знаю

3. Какую координату измеряют по направлению прихода сигнала?

- угол места
- радиальную скорость
- дальность
- не знаю

4. Укажите условие при котором пара целей считается наблюдаемыми раздельно?

- цели должны разрешаться по всем координатам
- цели должны разрешаться хотя бы по 1 координате
- цели должны разрешаться по 2 и более координатам
- не знаю

5. Радиальная скорость цели положительная, как цель движется по отношению к РЛС?

- удаляется
- неподвижна
- приближается
- не знаю

6. Укажите более точный метод измерения угловых координат?

- метод максимума
- суммарно-разностная обработка сигнала
- использование ненаправленной антенны
- не знаю

7. От какого направления отсчитывается азимут цели?

- от направления на командный пункт полка
- от центра рабочего сектора антенны
- от направления на север
- не знаю

8. От какой точки измеряются координаты цели?

- от точки стояния командного пункта полка
- от центра Земли
- от центра антенны РЛС
- не знаю

#### Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

##### Первый семестр.

1. Радиоприемные устройства первых РЛС: РУС-1, СОН-4, П-8.
2. Физические принципы работы РЛП.
3. Эффективная поверхность рассеяния цели.
4. Вывод уравнения дальности действия РЛС.
5. Виды радиолокационных сигналов и их математические модели.

6. Схема детекторного приемника и приемника прямого усиления.
7. Схема супергетеродинного приемника.
8. Достоинства и недостатки приемников прямого усиления и супергетеродинного.
9. Основные параметры приемников.
10. Прием радиолокационных сигналов как статистическая задача.
11. Векторное представление сигналов и их обработка с позиции векторной алгебры.
12. Обобщение декартовой системы координат. Скалярное произведение векторов как базовая операция обработки сигналов.
13. Спектральный и корреляционный анализ импульсных РЛ сигналов.
14. Нормальный закон распределения случайных величин.
15. Согласованная фильтрация. ЧПК согласованного фильтра. Механизм работы согласованного фильтра.
16. Согласованный фильтр как взаимно-корреляционное устройство.

Второй семестр.

1. Импульсная характеристика согласованного фильтра. Синтез согласованных фильтров по их импульсной характеристике.
2. УПЧ радиолокационного приемника как квазисогласованный фильтр.
3. Обнаружение РЛ сигналов как задача проверки статистических гипотез.
4. Оптимальный обнаружитель. Ситуации при обнаружении. Критерии обнаружения. Критерий минимального среднего риска. Критерий Неймана-Пирсона.
5. Структура оптимального обнаружителя РЛ сигналов.
6. Принятие решение об обнаружении сигнала. Построение характеристик обнаружения.
7. Пороговое отношение сигнал/шум. Чувствительность РЛ приемника. Потенциал РЛС.
8. Обнаружение бинарно-квантованных РЛ сигналов. Алгоритм обнаружения. Построение зависимостей вероятностей  $D$  и  $F$  от времени обнаружения.
9. Марковская модель обнаружителя бинарно-квантованных сигналов.
10. Структура импульсного дальномера. РЛ приемник импульсных сигналов.
11. Выбор частоты зондирующего сигнала импульсной РЛС.
12. Защита РЛП импульсных сигналов от перегрузок.
13. Структура и принцип работы станции разведки 1РЛ136.
14. Приемная система изделия 1РЛ136.
15. Обработка эхосигнала в приемной системе изделия 1РЛ136.

Поволжский государственный технологический университет

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 0**

по дисциплине «Современные радиолокационные приемники»

Направление: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация: "01 "Радиолокационные системы и комплексы""

1. Обнаружение бинарно-квантованных РЛ сигналов. Алгоритм обнаружения. Построение зависимостей вероятностей  $D$  и  $F$  от времени обнаружения.
2. Схема супергетеродинного приемника.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ /Р.Г. Хафизов/

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