МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе

_____
(подпись, ФИО)
«____»_____20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Радиотехнические системы

УГСН	11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи
Направление подготовки (специальность)	11.03.01 Радиотехника
Квалификация	*Бакалавр*
Форма обучения	*Очная*
Год начала подготовки	*2023*
Объем дисциплины, ч. / з.е. / недели	*144/4/3*
Образовательные технологии	*Традиционные*
Форма контроля (промежуточная аттестация)	*Семестр 1: Экзамен*
Подразделение – разработчик	*Кафедра "Электронные системы и информационная безопасность"*

Самара 2023

Радиотехнические системы

Разработчик

Разработчик РПМ
Кузьменко Александр Александрович
Руководитель подразделения
-

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по модулю, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 3

2. Место модуля в структуре образовательной программы 3

3. Объем модуля в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся 4

4. Содержание модуля, структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 5

4.1. Содержание лекционных занятий 6

4.2. Содержание лабораторных занятия 7

4.3. Содержание практических занятий 8

4.4. Содержание самостоятельной работы 9

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по модулю 9

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем 10

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по модулю 10

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Фонд оценочных средств 11

1. Перечень планируемых результатов обучения по модулю, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Таблица 1

Наименование категории (группы) компетенций	**Код и наименование компетенции**	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**	**Результаты обучения** (знать, уметь, владеть)
Общепрофессиональные компетенции			
Компьютерная грамотность	ОПК-4 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.1 Знать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств.
		ОПК-4.2 Уметь использовать современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности	Умеет осуществлять выбор наиболее оптимальных прикладных программных пакетов для решения соответствующих задач.
		ОПК-4.3 Владеть способностью проводить анализ информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Владеет современными программными средствами моделирования, оптимального проектирования и конструирования радиотехнических устройств и систем различного функционального назначения.

2. Место модуля в структуре образовательной программы

Модуль входит в Обязательную часть.

Входные требования:

Предшествующие осваиваемые модули: Радиоавтоматика; *Последующие осваиваемые модули:* Микропроцессорные средства радиоэлектронных систем.

3. Объем модуля в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Таблица 3

Вид учебной работы	**Всего часов**	**В том числе часов в электронной форме**	**В том числе часов в форме практической подготовки**	**Семестр 1 часов/часов в электронной форме/в форме практической подготовки**
Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	**64**	**0**	**0**	**64**
лекционные занятия (ЛЗ)	24	0	0	24
лабораторные работы (ЛР)	32	0	0	32
практические занятия (ПЗ)	8	0	0	8

Внеаудиторная контактная работа, КСР	**4**	**0**	**0**	**4**
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	**76**	**0**	**0**	**76**
Подготовка к лабораторным работам	*36*	*0*	*0*	*36*
Подготовка к практическим занятиям	*30*	*0*	*0*	*30*
Написание рефератов	*10*	*0*	*0*	*10*
ИТОГО: час.	**144**	**0**	**0**	**144**
ИТОГО: з.е.	**4.0**	**0.0**	**0.0**	**4.0**

4. Содержание модуля, структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Таблица 4

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	**ЛР**	**ПЗ**	**СРС**	**Всего часов**
1.	Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	4	4	2	12	22
2.	Физические основы радиолокации.	4	8	2	16	30
3.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	10	12	2	28	52
4.	Системы радиопротиводействия.	6	8	2	20	36
	КСР					*4*
	Итого:	*24*	*32*	*8*	*76*	*144*

4.1. Содержание лекционных занятий

Таблица 4.1

№ ЛЗ	Наименование раздела	Тема лекции	Содержание лекции (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов	Количество часов в электронной форме
Семестр 1					
1.	Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	Общие сведения о радиотехнических системах управления. Классификация радиолокационных и радионавигационных систем.	Введение. Общие сведения о радио-технических системах управления. Отличительные признаки РТС. Понятия о радиолокации, радионавигации и радиоуправлении. Основные параметры РЛС и РНС. Основные технические характеристики РЛС и РНС.	2	0
2.	Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	Принцип работы радиолокационной станции (РЛС). РЛС кругового обзора.	Виды электромагнитных волн, используемых в локации. Активная, полуактивная, активная с активным ответом и пассивная РЛС. Некогерентная и когерентная схемы их построения. Преимущества и недостатки. Структурная схема РЛС кругового обзора	2	0
3.	Физические основы радиолокации.	Характеристики радиолокационного рассеяния (ХРЛР). Радиолокационная заметность объектов.	Статические, динамические и статистические характеристики. Влияние земной поверхности на сигнал, отраженный от цели. Методы уменьшения эффективной площади рассеяния целей. Принцип действия радиопоглощающих покрытий. Увеличение ЭПР целей.	2	0
4.	Физические основы радиолокации.	Оптические локационные системы (ОЛС). Радиотепловые локаторы.	Особенности использования оптического диапазона. Источники излучения в оптической локационной системе. Дальность действия ОЛС. Рабочие диапазоны радиотеплолокаторов. Структурная схема когерентного оптического коррелятора и оптимального приёмника шумовых сигналов.Модуляционный приёмник.	2	0
5.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Системы определения местоположения объектов. Частотный метод измерения дальности.	Триангуляционный метод, разностно-дальномерный, взаимокорреляционный измеритель. Принципы действия, особенности. Принцип работы, достоинства и недостатки частотного метода. Фазовый метод измерения дальности. Принцип работы, достоинства и недостатки.	2	0
6.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Методы измерения скорости объектов.	Доплеровский измеритель скорости. Принцип работы. Структурная схема многолучевого доплеровского измерителя скорости	2	0
7.	Методы и системы измерения дальности и	Корреляционный метод измерения скорости.	Принцип работы. Структурная схема многолучевого корреляционного измерителя скорости. Достоинства и недостатки.	2	0

№ ЛЗ	Наименование раздела	Тема лекции	Содержание лекции (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов	Количество часов в электронной форме
	скорости объектов.				
8.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Корреляционный измеритель высоты	Корреляционный измеритель высоты. Структурная схема, принцип действия, достоинства и недостатки	2	0
9.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Радиотепловой построитель местной вертикали	Радиотепловой построитель вертикали. Принцип работы, способы построения.	2	0
10.	Системы радиопротиводействия.	Системы радиопротиводействия (РПД). Скрытность и помехоустойчивость РТС.	Классификация помех в РТС. Понятие скрытности и их классификация. Методы повышения частотной и временной скрытности. Основные проблемы радиоэлектронной маскировки (РЭМ). Количественные характеристики качества РЭМ.	2	0
11.	Системы радиопротиводействия.	Особенности применения систем РПД.	Эффективность воздействия помехи. Коэффициент подавления сигнала помехой для различного вида помех. Помехозащита приемных устройств. Классификация методов помехозащиты.	2	0
12.	Системы радиопротиводействия.	Основы надежности РТС.	Понятия надежности и отказа РТС. Характеристики надежности .Надежность безизбыточных и избыточных систем. Перспективы развития радиотехнических систем.	2	0
			Итого за семестр:	*24*	*0*
			Итого:	**24**	**0**

4.2. Содержание лабораторных занятий

Таблица 4.2

№ ЛабЗ	Наименование раздела	Наименование лабораторной работы	Содержание лабораторной работы (перечень рассматриваемых дидактических единиц: подтем, вопросов)	Количество часов	Количество часов в электронной форме	Количество часов в форме практической подготовки
Семестр 1						
1.	Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	Моделирование канала связи наземного и бортового комплексов управления.	Выбор диапазона частот, энергетических характеристик каналов связи различного назначения. Факторы, влияющие на помехоустойчивость каналов связи подвижных объектов. Оценка влияние различных факторов на помехоустойчивость каналов связи.	2	0	*0*
2.	Принципы построения радио-	Дальность действия радиолокационной станции (РЛС).	Выбор диапазона частот. Основные характеристики РЛС Антенны РЛС и их характеристики. Отношение сигнал/шум на входе РЛС. РЛС кругового обзора. Их классификация.	2	0	*0*

№ ЛабЗ	Наименование раздела	Наименование лабораторной работы	Содержание лабораторной работы (перечень рассматриваемых дидактических единиц: подтем, вопросов)	Количество часов	Количество часов в электронной форме	Количество часов в форме практической подготовки
	локационных и радионавигационных систем.		Структурная схема некогерентной РЛС кругового обзора.			
3.	Физические основы радиолокации.	Радиолиния с время-импульсной модуляцией.	Шифраторы и дешифраторы с линиями задержки. Принцип работы. Импульсные РЛС. Их особенности. Многопозиционные РЛС/	4	0	*0*
4.	Физические основы радиолокации.	Оптические локационные системы.	Оптический локатор. Свойства объектов и характеристики отраженных сигналов в оптическом диапазоне. Дальность действия оптических локационных систем. Изучение структурных схем оптических локаторов. Основы радиотеплолокации. Применение теплолокационных систем.	4	0	*0*
5.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Радиодальномеры	Методы измерения дальности. Фазовый и частотный методы измерения дальности радиотехническими устройствами. Импульсный метод измерения временной задержки в радиолокации.	4	0	*0*
6.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Доплеровские измерители дальности и скорости	Принцип действия, структурная схема измерителей, их применение. Ультразвуковые измерители дальности и скорости. Принцип действия, достоинства и недостатки. СВЧ измерители дальности и скорости.	4	0	*0*
7.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Радиотехнический и оптико-электронный корреляционный измерители скорости.	Радиотехнический корреляционный измеритель скорости. Принцип действия, структурная схема однолучевого КИС. и четырех лучевого КИС. Оптико-электронный измеритель скорости и угла сноса. Принцип действия,структурная схема, применение.	4	0	*0*
8.	Системы радиопротиводействия.	Активные шумовые помехи	Активные шумовые помехи. Классификация шумовых помех. Активные имитационные помехи. Виды имитационных помех. Методы защиты от активных помех. Основные проблемы радиоэлектронной маскировки (РЭМ)	4	0	*0*
9.	Системы радиопротиводействия.	Методы радио-электронной маскировки.	Виды радиоэлектронной маскировки. Технические и организационно-тактические методы маскировки.	4	0	*0*

№ ЛабЗ	Наименование раздела	Наименование лабораторной работы	Содержание лабораторной работы (перечень рассматриваемых дидактических единиц: подтем, вопросов)	Количество часов	Количество часов в электронной форме	Количество часов в форме практической подготовки
			Пассивные методы маскировки. Оценка помехоустойчивости РЛС.			
			Итого за семестр:	*32*	*0*	*0*
			Итого:	**32**	**0**	***0***

4.3. Содержание практических занятий

Таблица 4.3

№ ПЗ	Наименование раздела	Тема практического занятия	Содержание практического занятия (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов	Количествочасов в электронной форме	Количество часов в форме практической подготовки
			Семестр 1			
1.	Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	Классификация радио-локационных и радио-навигационных систем. Радиолокационный обзор. Методы обзора пространства.	Методы наведения летательных аппаратов (ЛА). Траектории полета управляемых ЛА. Методы наведения. Принцип работы радиолокационной станции (РЛС). Виды электромагнитных волн, используемых в локации. Активная, полуактивная, активная с активным ответом и пассивная РЛС.	2	0	*0*
2.	Физические основы радиолокации.	Радиолокационная заметность объектов	Методы уменьшения эффективной площади рассеяния целей. Принцип действия радиопоглощающих покрытий. Увеличение ЭПР целей	2	0	*0*
3.	Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Оптические локационные системы (ОЛС). Радиотепловые локаторы	Оптическое и лазерное излучение. Принцип работы и схемы лазерного локатора. Рабочие диапазоны радиотеплолокаторов. Достоинства и недостатки РТЛ. Структурная схема оптимального приёмника шумовых сигналов.	2	0	*0*
4.	Системы радиопротиводействия.	Особенности применения систем РПД	Эффективность воздействия помехи. Коэффициент подавления сигнала помехой для различного вида помех Помехозащита приемных устройств	2	0	*0*
			Итого за семестр:	*8*	*0*	*0*
			Итого:	**8**	**0**	***0***

4.4. Содержание самостоятельной работы

Таблица 4.4

Наименование раздела	Вид самостоятельной работы	Содержание самостоятельной работы (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов
Семестр 1			
Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	Подготовка к практическим занятиям	Основные параметры РЛС и РНС. Основные технические характеристики РЛС и РНС. РЛС кругового обзора.	14
Физические основы радиолокации.	Подготовка к практическим занятиям	Влияние земной поверхности на сигнал, отраженный от цели. Принцип действия радиопоглощающих покрытий. Увеличение ЭПР целей Особенности использования оптического диапазона. Источники излучения в оптической локационной системе. Рабочие диапазоны радиотеплолокаторов. Достоинства и недостатки РТЛ.	10
Физические основы радиолокации.	Подготовка к лабораторным работам	Выбор диапазона частот, энергетических характеристик. Влияние различных факто-ров на помехоустойчивость.	4
Физические основы радиолокации.	Подготовка к лабораторным работам	Выбор диапазона частот работы РТС. Влияние частот на дальность работы РЛС..	4
Физические основы радиолокации.	Подготовка к лабораторным работам	Методы построения радиолиний управления. Радиолиния с время-импульсной модуляцией.	4
Физические основы радиолокации.	Подготовка к лабораторным работам	Оптический локатор. Его назначение и принцип работы. Области применения.	4
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Подготовка к практическим занятиям	Триангуляционный метод, разностно-дальномерный метод определения местопо-ложения объектов. Частотный и фазовый методы измерения дальности. Доплеровский измеритель скорости. Принцип работы. Многолучевой корреляционного измеритель скорости ЛА	4
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Подготовка к лабораторным работам	Радиодальномеры. Радиолокаторы.. Принципы работы и их основные параметры	4
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Подготовка к лабораторным работам	Ультразвуковые измерители дальности и скорости объектов. Области применения и принцип работы.	4
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Подготовка к лабораторным работам	Оптикоэлектронный корреляционный измеритель скорости. Принцип работы и области применения.	4
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	Написание рефератов	Радиотепловые локаторы и принцип их работы, характеристики. Оптико-электронные локаторы, принцип действия и характеристики.	10
Системы радиопротиводействия.	Подготовка к практическим занятиям	Классификация помех в РТС: по происхождению, по виду средств создания, по характеру воздействия, по виду излучения. Эффективность воздействия помех	2
Системы радиопротиводействия.	Подготовка к лабораторным работам	Активные имитационные помехи. Виды имитационных помех	4
Системы радиопротиводействия.	Подготовка к лабораторным работам	Основные проблемы радиоэлектронной маскировки (РЭМ).	4
		Итого за семестр:	*76*
		Итого:	**76**

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по модулю

Таблица 5

№ п/п	Библиографическое описание	Ссылка на ресурс
1.	Аграновский, К.Ю. Радиотехнические системы : Учеб. пособие / К. Ю. Аграновский, Д. Н. Златогурский, В. Г. Киселев.- М., Высш.шк., 1979.- 332 с.	Книжный фонд СамГТУ
2.	Апорович, А.Ф. Проектирование радиотехнических систем : [Учеб.пособие].- Минск, Вышэйш.шк., 1988.- 220 с.	Книжный фонд СамГТУ
3.	Зайцев, Г.Ф. Радиотехнические системы автоматического управления высокой точности / Г.Ф.Зайцев,В.К.Стеклов.- Киев, Тэхніка, 1988.- 207 с.	Книжный фонд СамГТУ
4.	Вопросы помехоустойчивости и развивающей способности радиотехнических систем : Сб.ст. / ; Рязан.радиотехн.ин-та;Ред.кол.:С.А.Суслонов(отв.ред.)и др..- Рязань, 1972.- 175 с.	Книжный фонд СамГТУ
5.	Лезин, Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем : учеб.пособие / Ю. С. Лезин.- М., Радио и связь, 1986.- 279 с.	Книжный фонд СамГТУ

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

Таблица 6

№ п/п	Наименование	Ссылка на веб-страницу ресурса	Режим доступа
1.	*eLIBRARY.RU (НЭБ - Научная электронная библиотека "Российский индекс научного цитирования") [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые, граф., зв. дан., Сайт в сети Интернет*	*http://www.elibrary.ru/*	*Ресурсы открытого доступа*
2.	*УИС РОССИЯ - Университетская информационная система РОССИЯ [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые, граф., зв. дан., Сайт в сети Интернет*	*http://www.cir.ru/*	*Ресурсы открытого доступа*

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по модулю

Лекционные занятия проводятся в:

Корпус № 8/113 - Учебная аудитория (Аудитория на 30 посадочных мест оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, столы учебные, доска аудиторная. Специализированное оборудование: телевизор TV Philips; подвес для телевизора Sanus vMAA18B-02).

Практические занятия проводятся в:

Корпус № 8/109 - Учебная аудитория (Аудитория на 20 посадочных мест оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, столы учебные, доска аудиторная. Коммутатор D-Link DES-1016D. 10 ПК P4631\3.0GHz64bit2M в комплекте. На ПК установлено следующее программное обеспечение: операционная система MS Windows 7, офисный пакет MS Office 2007, Auto Cad, ЛИРА, антивирусное ESET nod 32, Auto CAD, PTC Mathcad Prime 3.1, ArchiCAD. Обеспечено проводное подключение ПК к локальной сети и сети Интернет.).

Самостоятельная работа проводятся в:

Корпус № 8/109 - Учебная аудитория (Аудитория на 20 посадочных мест оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, столы учебные, доска аудиторная. Коммутатор D-Link DES-1016D. 10 ПК P4631\3.0GHz64bit2M в комплекте. На ПК установлено следующее программное обеспечение: операционная система MS Windows 7, офисный пакет MS Office 2007, Auto Cad, ЛИРА, антивирусное ESET nod 32, Auto CAD, PTC Mathcad Prime 3.1, ArchiCAD. Обеспечено проводное подключение ПК к локальной сети и сети Интернет.).

Лабораторные занятия проводятся в:

Корпус № 8/109 - Учебная аудитория (Аудитория на 20 посадочных мест оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, столы учебные, доска аудиторная. Коммутатор D-Link DES-1016D. 10 ПК P4631\3.0GHz64bit2M в комплекте. На ПК установлено следующее программное обеспечение: операционная система MS Windows 7, офисный пакет MS Office 2007, Auto Cad, ЛИРА, антивирусное ESET nod 32, Auto CAD, PTC Mathcad Prime 3.1, ArchiCAD. Обеспечено проводное подключение ПК к локальной сети и сети Интернет.).

ПРИЛОЖЕНИЕ
Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по модулю

Настоящий Фонд оценочных средств (ФОС) по модулю Радиотехнические системы является неотъемлемым приложением к рабочей программе модуля. На данный ФОС распространяются все реквизиты утверждения, представленные в рабочей программе модуля.

1. Перечень оценочных средств

Таблица 1

№ п/п	Оценочное средство	Краткая характеристика оценочного средства	Количество	Представление оценочного средства в ФОС
1	Отчёт по лабораторной работе	Оценка способности студента применить полученные ранее знания для проведения анализа, опыта, эксперимента и выполнения последующих расчетов, а также составления выводов.	9	Требования к содержанию и оформлению отчета
2	Отчет по практике	Отчетные документы о прохождении практики и выполнении индивидуального задания на практику, выданного студенту (отчет/доклад с презентацией), оформленные в соответствии с установленными требованиями.	4	Требования к содержанию и оформлению отчета/доклада с презентацией
3	Реферат	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемого вопроса, приводит различные точки зрения, а также собственное понимание проблемы.	1	Примерная тематика реферативных работ, требования к содержанию и оформлению

Раздел 2. Этапы формирования компетенций, соотнесенные с видами оценочных средств

Таблица 2

Контролируемые разделы модуля	Код и формулировка индикатора компетенции	Результат обучения	Оценочные средства	Номер оценочного средства
Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	ОПК-4.1 Знать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования	Отчёт по лабораторной работе	1-9

		и компьютерных средств.		
Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	ОПК-4.2 Уметь использовать современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности	Умеет осуществлять выбор наиболее оптимальных прикладных программных пакетов для решения соответствующих задач.	Отчет по практике	1-4
Принципы построения радио-локационных и радионавигационных систем.	ОПК-4.3 Владеть способностью проводить анализ информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Владеет современными программными средствами моделирования, оптимального проектирования и конструирования радиотехнических устройств и систем различного функционального назначения.	Реферат	1
Физические основы радиолокации.	ОПК-4.1 Знать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств.	Отчёт по лабораторной работе	1-9
Физические основы радиолокации.	ОПК-4.2 Уметь использовать современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности	Умеет осуществлять выбор наиболее оптимальных прикладных программных пакетов для решения соответствующих задач.	Отчет по практике	1-4
Физические основы радиолокации.	ОПК-4.3 Владеть способностью	Владеет современными	Реферат	1

	проводить анализ информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	программными средствами моделирования, оптимального проектирования и конструирования радиотехнических устройств и систем различного функционального назначения.		
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	ОПК-4.1 Знать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств.	Отчёт по лабораторной работе	1-9
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	ОПК-4.2 Уметь использовать современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности	Умеет осуществлять выбор наиболее оптимальных прикладных программных пакетов для решения соответствующих задач.	Отчет по практике	1-4
Методы и системы измерения дальности и скорости объектов.	ОПК-4.3 Владеть способностью проводить анализ информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Владеет современными программными средствами моделирования, оптимального проектирования и конструирования радиотехнических устройств и систем различного функционального назначения.	Реферат	1
Системы радиопротиводействия.	ОПК-4.1 Знать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач	Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем	Отчёт по лабораторной работе	1-9

	профессиональной деятельности	с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств.		
Системы радиопротиводействия.	ОПК-4.2 Уметь использовать современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности	Умеет осуществлять выбор наиболее оптимальных прикладных программных пакетов для решения соответствующих задач.	Отчет по практике	1-4
Системы радиопротиводействия.	ОПК-4.3 Владеть способностью проводить анализ информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Владеет современными программными средствами моделирования, оптимального проектирования и конструирования радиотехнических устройств и систем различного функционального назначения.	Реферат	1

3. Содержание оценочных средств текущего контроля

Оценочное средство 1:
Отчёт по лабораторным работам и практическим занятиям
Оценочное средство 2:
Пример оформления реферата

4. Содержание оценочных средств промежуточной аттестации

Семестр 1:

Вид аттестационного испытания 1: Устное собеседование.
Форма проведения промежуточной аттестации: Экзамен.
Типовые задания: .

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

Модуль состоит из набора разделов. Объем учебного раздела раскрывает отдельную (ые) тему(ы) модуля / этап прохождения практики. Модуль разбивается, как правило, на 2-4 раздела в семестр.

Раздел состоит из учебных элементов (дидактических единиц), сгруппированных по темам в рамках раздела. Объем учебного материала учебного элемента раскрывает отдельный вопрос темы. Путем набора соответствующих тем и учебных элементов формируется раздел, содержание которого соответствует запланированным результатам освоения ОП согласно учебному плану.

По каждому разделу устанавливается перечень обязательных видов работы студента, включающий: ответы на теоретические вопросы на семинаре; решение практических задач и выполнение заданий на

практических занятиях; выполнение лабораторных работ; выполнение контрольных работ; написание рефератов; участие в коллоквиумах; тестирование по теме (группе тем); другие виды работ, определяемые преподавателем (в соответствии с установленными требованиями балльно-рейтинговой технологии).

Каждый раздел включает определенные формы контроля для оценки уровня усвоения учебного материала и определения рейтинговой оценки качества усвоения учебного материала.

Рейтинговая оценка знаний студентов определяется по 100-балльной шкале в каждом семестре и включает текущий, рубежный и итоговый контроль.

Накопленный рейтинг (фиксированная величина по окончании семестра) — это фактический рейтинг по всем освоенным к данному моменту разделам дисциплины, включая их текущий, рубежный и итоговый контроль, составляет N баллов (N – индивидуальная величина, зависящая от проделанной работы студента по дисциплине).

Проходной рейтинг (включает текущий контроль, рубежный контроль в семестре и промежуточную аттестацию) — это минимум баллов, набрав который студент будет считаться аттестованным по дисциплине, составляет N баллов в семестр по одной дисциплине.

Пороговый рейтинг (включает текущий контроль и рубежный контроль в семестре) — это минимальный фактический рейтинг семестрового контроля, набрав который, студент проходит на итоговый контроль, составляет 50% от суммы баллов, которые студент может набрать за текущий контроль и рубежный контроль в течение семестра.

Текущий контроль служит для получения первичной информации о ходе усвоения отдельных элементов содержания учебной дисциплины. Основное его назначение состоит в осуществлении контроля за всеми видами аудиторной и самостоятельной внеаудиторной деятельности студентов, результаты которого оцениваются в баллах.

Рубежный контроль (контрольные точки текущего контроля) проводится после изучения завершенной в смысловом и логическом плане части учебного материала (раздела, модуля). Этот вид контроля позволяет получить информацию о ходе усвоения некоторой совокупности содержательных элементов учебной дисциплины (раздела, модуля) и оценивается в баллах.

Промежуточный итоговый контроль (контрольные точки промежуточной аттестации) – курсовой проект, курсовая работа и экзамен, зачет, зачет с оценкой. Итоговый контроль по дисциплине в семестре предназначен для аттестации студента по учебной дисциплине: процедура установления соответствия уровня и качества подготовки студентов системе требований, зафиксированной в ФГОС ВО.

Распределение баллов рейтинговой оценки между видами контроля

Таблица 3

Форма промежуточной аттестации	Количество баллов			
	Текущий контроль	Рубежный контроль	Итоговый контроль	Сумма баллов
Экзамен	0	0	44	44

Перевод оценок 100-балльной шкалы в оценки промежуточной аттестации

Таблица 4

100-балльная шкала	85-100	70-84	50-69	0-49
5-балльная шкала	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Бинарная шкала	Зачтено			Не зачтено

Распределение рейтинговых баллов по разделам модуля с указанием применяемых для их начисления оценочных средств представлено в Технологической карте БРТ.

Технологическая карта БРТ

Семестр 1

Раздел учебного модуля	Оценочные средства				Итого
	Отчёт по лабораторной работе	**Реферат**	**Отчет по практике**	**Экзамен**	
Раздел 1					
ЛЗ 1.1		0			0
ЛЗ 1.2		5			5
ПЗ 1.1			2		2
ЛР 1.1	2				2
ЛР 1.2	2				2
Итого по разделу 1	4	5	2		11
Раздел 2					
ЛЗ 2.1		0			0
ЛЗ 2.2		5			5
ПЗ 2.1			2		2
ЛР 2.1	2				2
ЛР 2.2	2				2
Итого по разделу 2	4	5	2		11
Раздел 3					
ЛЗ 3.1		0			0
ЛЗ 3.2		5			5
ЛЗ 3.3		0			0
ЛЗ 3.4		5			5
ЛЗ 3.5		0			0
ПЗ 3.1			2		2
ЛР 3.1	2				2
ЛР 3.2	2				2
ЛР 3.3	2				2
Итого по разделу 3	6	10	2		18
Раздел 4					
ЛЗ 4.1		5			5
ЛЗ 4.2		0			0
ЛЗ 4.3		5			5
ПЗ 4.1			2		2
ЛР 4.1	2				2
ЛР 4.2	2				2
Итого по разделу 4	4	10	2		16
Промежуточная аттестация				44	44
Итого	18	30	8	44	100

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения ОПОП

Перечень компетенций и планируемые результаты обучения (дескрипторы): знания – З, умения – У, владения - В, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы (ОПОП), представлены в разделе 1 Рабочей программы дисциплины (таблица 1) в соответствии с матрицей компетенций и картами компетенций ОПОП (Приложение 1 к ОПОП).

Основными этапами формирования указанных компетенций в рамках дисциплины выступает последовательное изучение содержательно связанных между собой разделов (тем) учебных занятий.

Таблица 1

Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Этапы формирования компетенции	Планируемые результаты (дескрипторы) обучения	Оценочные средства
1	4	3	5
1	Раздел 1. Принципы построения радиолокационных и радионавигационных систем	З12.(ПК-2) – I. У12.(ПК-2) – I. В12(ПК-2) – I.	Отчеты по лабораторным работам и практическим занятиям по темам раздела 1
2	Раздел 2. . Физические основы радиолокации	З12.(ПК-2) – I. У12.(ПК-2) – I. В12(ПК-2) – I.	Отчеты по лабораторным работам и практическим занятиям по темам раздела 2

3	Раздел 3. Методы и системы измерения дальности и скорости объектов	З12.(ПК-2) – I. У12.(ПК-2) – I. В12(ПК-2) – I.	Отчеты по лабораторным работам и практическим занятиям по темам раздела3.
4	Раздел 4 Системы радиопротиводействия	З12.(ПК-2) – I. У12.(ПК-2) – I. В12(ПК-2) – I.	Отчеты по лабораторным работам и практическим занятиям по темам раздела4.
5	Промежуточная аттестация	З12.(ПК-2) – I. У12.(ПК-2) – I. В12(ПК-2) –I.	Экзамен

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования

Карты компетенций в составе ОПОП **11.03.01 Радиотехника** (Приложение 1 к ОПОП) включают:

1. описание этапов и уровней освоения компетенции;
2. характеристику планируемых результатов обучения для каждого этапа и уровня освоения компетенции и показателей их проявления (дескрипторов): владений, умений, знаний (с соответствующей индексацией);
3. шкалу оценивания результатов обучения (владений, умений, знаний) с описанием критериев оценивания.

Результаты обучения по дисциплине **Радиотехнические системы** направления подготовки **11.03.01 Радиотехника,** профиля **Бытовая радиоэлектронная аппаратура** определяются показателями и критериями оценивания сформированности компетенций на этапах их формирования представлены в табл. 2.

Типовые контрольные задания или иные материалы для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенцийв процессе освоения ОПОП

Перечень подлежащих оценке результатов обучения (показателей проявления компетенций: владений, умений, знаний) при использовании предусмотренных рабочей программой дисциплины оценочных средств представлены в табл. 2.

Оценка знаний собеседования проводится по темам лекционных занятий рабочей программы (таблица 5 рабочей программы).

Аттестация проводится по списку вопросов к промежуточному контролю согласно рабочей программы.

Примерный перечень вопросов к экзамену в 8 семестре

1. Радиоуправление летательными аппаратами.
2. Радиотехнический комплекс командного управления КА. Обобщенная схема управления КА..
3. Наземный и бортовой комплексы управления. Выбор диапазона частот.
4. Командно-измерительные системы и их назначение. Обобщенная схема командно-измерительной системы. .
5. Передача командно-программной информации. Крипто и имитозащита информации..
6. Телеметрия. Передача телеметрической информации..
7. Радиотехнические методы измерения параметров движения космических аппаратов.
8. Методы измерения радиальной скорости и дальности объектов.
9. Измерение угловых координат объектов.
10. Основные характеристики космических радиолиний.
11. Системы радиопротиводействия.
12. Системы командного радиоуправления. Структурная схема радиолинии.
13. Способы уплотнения каналов передачи информации.
14. Радиолиния с время-импульсной модуляцией.
15. Принципы построения систем радиотеленаведения. Структурная схема и принцип работы.
16. Система наведения по радиолучу, структурная схема и принцип работы.
17. Радиолиния управления в радиолуче. Схема формирования радиолуча и принцип её работы.
18. Системы автономного радиоуправления и их применение.
19. Радиовысотомеры. Назначение, принципы работы.
20. Радиодальномеры. Назначение и принцип работы.
21. . Радиовертикаль. . Назначение, принципы работы.
22. Радиотехнические измерители скорости. Допплеровский измеритель скорости.
23. Радиотехнические измерители скорости. Корреляционный измеритель скорости.
24. Радиолокационные станции с синтезированной апертурой.
25. Системы радиотехнической разведки.
26. Скрытность и помехоустойчивость РЭС.
27. Методы борьбы с организованными радиопомехами.

Примерная структура билета на экзамен

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электронные системы и информационная безопасность»

БИЛЕТ № 1

по дисциплине **Радиотехнические системы**
(наименование дисциплины)

Направление подготовки **11.03.01** (шифр) Факультет **АИТ** (наименованиефакультета) Семестр **8** (номер)

1. Радиоуправление летательными аппаратами.
2. Методы борьбы с организованными радиопомехами.

Составитель:

_____ В.П. Свиридов

«____» _____ 20__ года

Заведующий кафедрой

_____ П.О. Скобелев

«____» _____ 20__ года

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

К а ф е д р а "Электронные системы и информационная безопасность"

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Методические указания по выполнению практических занятий

Самара 2015

Занятие 1

Методы наведения летательных аппаратов

Краткие сведения

2. ПРИНЦИПЫ И ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Радиолокация – обнаружение, определение местоположения и выявление свойств подвижных и неподвижных объектов с использованием радиоволн, отражённых или излучённых этими объектами. Радиолокацией называют также область науки и техники, охватывающую методы и средства решения указанных задач. Объекты радиолокации называют *радиолокационными целями*, информацию о радиолокационных целях – *радиолокационной информацией* (РЛИ), а технические средства получения РЛИ – *радиолокационными станциями или радиолокаторами*. Совокупность радиолокационных станций и вспомогательных технических средств, взаимосвязанных между собой и предназначенных для решения какой-либо тактической задачи радиолокации, называют *радиолокационной системой* (РЛС).

Радионавигация – определение местоположения объектов и обеспечение их движения по заданным траекториям с помощью радиосредств. Объектами радионавигации являются управляемые летательные аппараты (воздушные и космические), морские корабли и др. Совокупность взаимодействующих радиоустройств и вспомогательных технических средств, расположенных на подвижном объекте и вне его, предназначенных для решения тактической задачи радионавигации, называют *радионавигационной системой* (РНС).

Основными задачами РЛС и РНС являются:

1. Обнаружение – состоит в принятии решения о наличии или отсутствии объекта в заданной области пространства.

2. Измерение координат и параметров движения – сводится к получению оценок координат объектов и их производных (скорости, ускорения). Число и вид измеряемых координат определяются назначением РЛС и РНС и выбранной системой координат, в которой определяется местоположение объекта.

3. Разрешение – сводится к обнаружению и измерению координат и параметров движения объекта при наличии в исследуемом участке пространства других объектов.

4. Распознавание – состоит в установлении принадлежности объекта к определённому классу.

РТС извлечения информации и, прежде всего, РЛС в зависимости от происхождения принимаемого сигнала подразделяются на активные

и пассивные. В активных радиосистемах информация выделяется из радиосигналов, полученных в результате облучения объекта (цели) зондирующим электромагнитным колебанием – зондирующим сигналом и приёма отражённой (рассеянной) от объекта энергии – отражённого сигнала (рис. 2.1, *а*, *б*, *д*).

В пассивной радиосистеме извлечение информации осуществляется без облучения объекта электромагнитными колебаниями. Поэтому пассивная радиосистема состоит из приёмной антенны и радиоприёмного устройства (РПрУ) (рис. 2.1, *в*).

По степени автономности РНС подразделяют на автономные и неавтономные.

Неавтономная РНС включает в себя радиолинию, состоящую из РПдУ, передающей системы и РПрУ (рис. 2.1, *г*). Радиопередающее устройство РПдУ устанавливается в пункте с известными координатами –

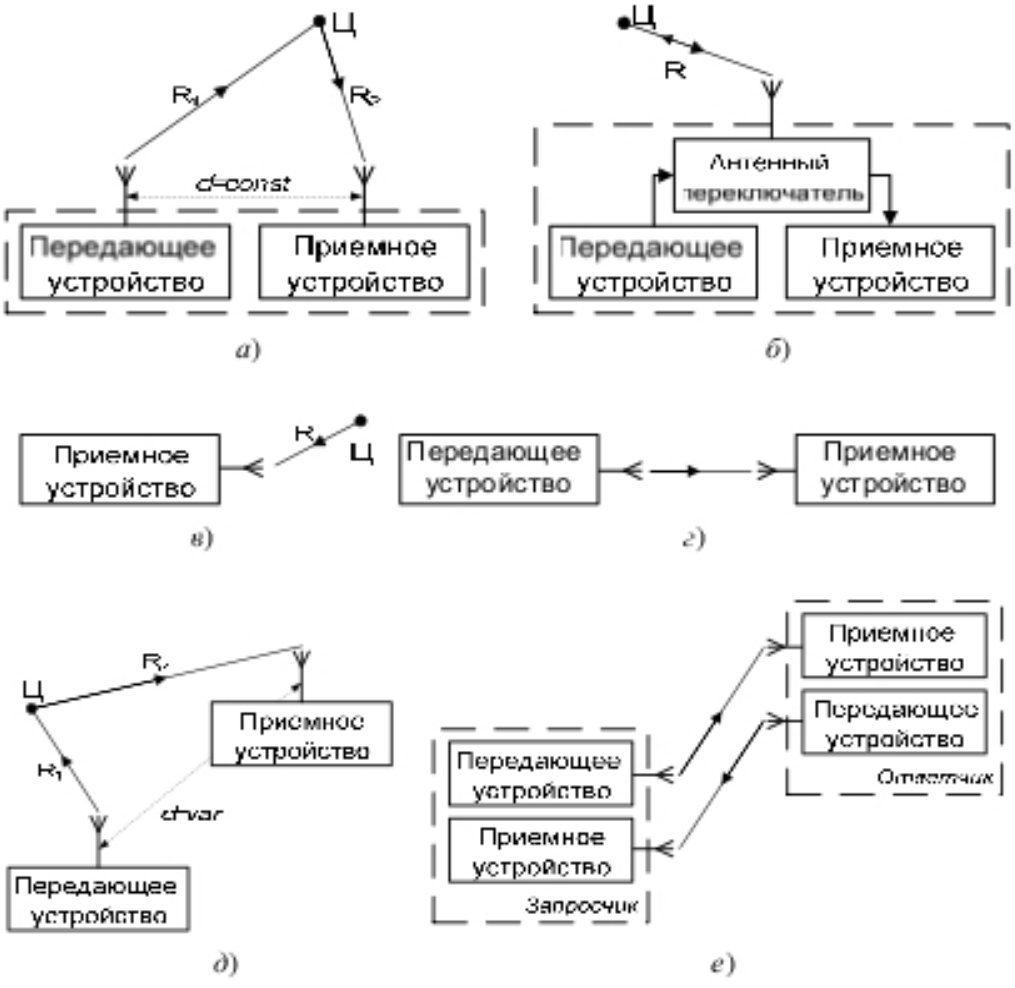

Рис. 2.1. Структурные схемы РНС

радионавигационной точке (РНТ). Таких точек обычно несколько, и они могут располагаться на Земле, либо на движущихся объектах – ИСЗ и других летательных аппаратах (ЛА). Радиоприёмное устройство (РПрУ) находится на подвижном объекте, местоположение которого требуется определить.

Автономная РНС не нуждается в радиоаппаратуре, устанавливаемой в РНТ; она определяет местоположение подвижного объекта с помощью только бортовых радиоустройств и представляет собой по существу активную РЛС (рис. 2.1, *а*, *б*, *д*), при этом отражающим объектом обычно является земная поверхность.

В радиолокации и радионавигации используются также *активные системы с активным ответом* (рис. 2.1, *е*). В таких системах на объекте устанавливается *ответчик* – приёмопередающее устройство, отвечающее на сигналы активной системы – *запросчика*.

В зависимости от расположения РПрУ и РПдУ в пространстве РЛС подразделяют на *однопозиционные* (совмещённые), когда РПрУ и РПдУ размещены в одном пункте (рис. 2.1, *б*); *разнесённые* (бистатические, двухпозиционные, однобазовые), когда РПрУ и РПдУ расположены в двух пунктах, достаточно удалённых друг от друга на расстояние d, называемое *базой* (рис. 2.1, *а*, *д*), и *многопозиционные* (многобазовые).

Совмещённое средство часто содержит одну антенну, коммутируемую поочередно на передачу и приём сигналов.

Базы бывают не только постоянными, $d = \text{const}$ (рис. 2.1, *а*), но и *переменными* (рис. 2.1, *д*). Приёмный пункт – головка самонаведения – располагается, в частности, на ракете, так что $d = \text{var}$.

Многопозиционная РЛС (МП РЛС) состоит из нескольких разнесённых в пространстве передающих, приёмных или приёмно-передающих позиций, в которых осуществляется совместная обработка РЛИ. В связи с усложнением задач радиолокации интерес к разнесённым радиолокационным средствам в последнее время возрастает.

2.2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИООБНАРУЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Проблема радиообнаружения объекта сводится к обнаружению сигнала, излучаемого или переизлучаемого этим объектом на фоне различного рода помех. *Активное радиообнаружение* основано на явлении отражения или рассеивания радиоволн, если на пути их распространения встречается объект с электрическими параметрами, отличными от параметров среды. Такой объект, облучённый электромагнитным колебанием, становится источником отражённого, т.е. вторичного электромагнитного поля. Мощность вторичного излучения зависит от

Изучить структурные схемы различных радионавигационных систем, принципы их работы.

Отчет должен содержать основные задачи РЛС и РНС,структурные схемы различных радионавигационных систем, пояснения по принципам работы, их достоинства и недостатки, особенности применения.

Занятие 2

2. РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ОБЗОР. МЕТОДЫ ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА

В большинстве радиолокационных систем, прежде чем производить измерение координат и параметров движения, цель необходимо найти. Процесс поиска радиолокационных целей называется *радиолокационным обзором*. Поиск цели производится перемещением луча в некоторой области, называемой *зоной обзора* станции.

Характеристики радиолокационного обзора в большой степени зависят от вида диаграммы направленности антенны РЛС. *Диаграммой направленности* $F^2(\varphi_{АЗ}, \varphi_{УМ})$ *по мощности* называется график зависимости плотности мощности ρ излучаемой волны от направления распространения при постоянном расстоянии до точек наблюдения. На практике часто вместо пространственной диаграммы направленности пользуются плоскими диаграммами, представляющими собой сечение поверхности $F(\varphi_{АЗ}, \varphi_{УМ})$ двумя главными плоскостями – горизонтальной и вертикальной. Угол $\theta_{0,5}$ – представляет собой ширину диаграммы направленности по уровню половинной мощности.

Антенны РЛС имеют диаграммы направленности двух основных видов: *иглообразные* и *веерные* (плоские). Иглообразными называются диаграммы, у которых ширина по уровню половинной мощности приблизительно одинакова для обоих главных сечений. Веерные диаграммы характеризуются существенным различием ширины в главных сечениях.

Периодом обзора $T_{обз}$ называется время, требуемое для однократного облучения всех точек зоны обзора, и обеспечения возможности приема сигналов из этих точек.

Временем облучения $T_{обл}$ точечной цели называется время, протекающее с момента начала излучения радиоволн в направлении данной цели до конца приема сигналов от этой цели. За время $T_{обл}$ накапливается энергия принимаемых сигналов, необходимая для обнаружения сигналов, оценки их параметров, разрешения и т. д. Соответственно, за время облучения цели $T_{обл}$ на вход приемника РЛС должно поступить не менее N отраженных от цели эхо-сигналов. В свою очередь число накопленных эхо-сигналов зависит от периода повторения зондирующих импульсов РЛС $T_п$

$$T_{обл} = N \cdot T_п . \qquad (20)$$

При этом, при условии однозначного измерения дальности, период повторения зондирующих импульсов не может быть меньше, чем максимальное время задержки отраженных эхо-сигналов.

$$T_п \geq t_{з.max} = 2D_{max} / c . \qquad (21)$$

Теоретически период последовательного обзора равен

$$T^0_{обз} = T_{обл} D_{макс} \Phi_{АЗ} \Phi_{УМ} / \Delta D \theta_{АЗ} \theta_{УМ}, \qquad (22)$$

где ΔD – участок дальности, просматриваемый в каждый данный интервал $T_{обл}$, $\theta_{АЗ}$ и $\theta_{УМ}$ – значения ширины луча по уровню половинной мощности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Если за время $T_{обл}$ просматриваются цели на всей дальности действия РЛС, то теоретически значение периода последовательного обзора равно

$$T^0_{обз} = T_{обл}\Phi_{АЗ}\Phi_{УМ} / \theta_{АЗ}\theta_{УМ}. \quad (23)$$

В реальных системах обзора время облучения цели существенно изменяется по зоне обзора (например, вследствие изменения скорости движения луча на краях зоны сканирования). В результате реальный период обзора $T_{обз}$ часто оказывается большим теоретически необходимого $T^0_{обз}$. Отношение этих двух величин называют *относительным периодом обзора* $K_{обз}$.

С учетом коэффициента $K_{обз}$ формулы (22) и (23) для реального периода обзора можно записать следующим образом:

при просмотре дальности по частям отрезками ΔD

$$T_{обз} = K_{обз}T_{обл}D_{макс}\Phi_{АЗ}\Phi_{УМ} / \Delta D\theta_{АЗ}\theta_{УМ}, \quad (24)$$

при просмотре всей дальности сразу

$$T_{обз} = K_{обз}T_{обл}\Phi_{АЗ}\Phi_{УМ} / \theta_{АЗ}\theta_{УМ}. \quad (25)$$

Значения величины $K_{обз}$ для некоторых видов обзора приведены в таблице 2.

Таблица 2

Методы обзора	$\Phi_{аз}$, /$\Phi_{ум}$		
	0,5	1	2
Круговой	1	1	1
Секторный	1,5	1,3	1,2
Строчный	2,4 – 2,5	2,4 – 2,5	2 – 2,15
Винтовой	-	-	2
Поступательно-конический	-	-	2,4
Спиральный	-	1,75	-

При *круговом обзоре* плоским лучом период обзора и время облучения соответственно равны:

$$T_{обз} = 360^\circ / \Omega_a, \quad (26)$$

$$T_{обл} = \theta_{АЗ} / \Omega_a, \quad (27)$$

где Ω_a – угловая скорость вращения луча РЛС, град/с.

При использовании *секторного обзора*, если известно среднее значение угловой скорости $\Omega_{ср}$ перемещения луча шириной $\theta_{0,5}$ в требуемом направлении в пределах сектора Φ, то

$$T_{обз} = \Phi / \Omega_{ср}, \quad (28)$$

$$T_{обл} = \theta_{0,5} / \Omega_{ср}. \qquad (29)$$

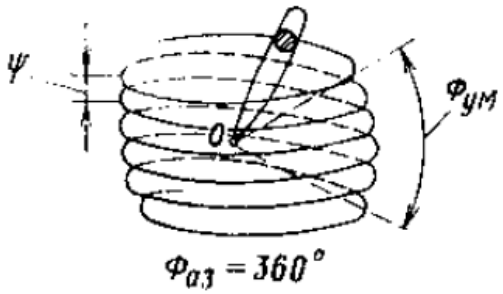

Рис. 3. Винтовой обзор иглообразным лучом

При *винтовом обзоре* иглообразным лучом (рис. 3)

$$T_{обз} = 360^{\circ}(\Phi_{УМ} - \theta_{УМ})/\Omega_{гор}\Psi \approx 360^{\circ}\Phi_{УМ}/\Omega_{гор}\Psi, \qquad (30)$$

$$T_{обл} = \theta_{АЗ} / \Omega_{гор}, \qquad (31)$$

где $\Omega_{гор}$ – угловая скорость перемещения луча в горизонтальной плоскости; Ψ – шаг луча в вертикальной плоскости, т. е. изменение угла места оси луча при его повороте на 360° по азимуту; $\Psi = (0{,}5 \ldots 0{,}8)\theta_{УМ}$.

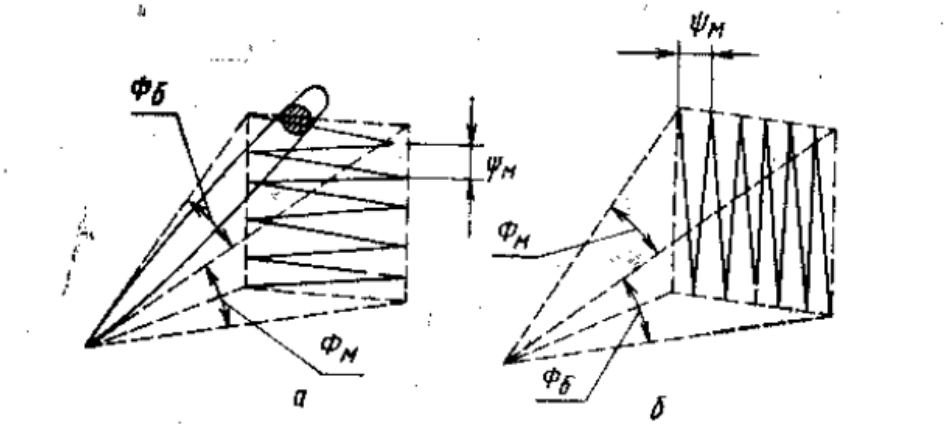

Рис. 4. Строчный обзор иглообразным лучом: а – плавное перемещение по горизонтали, б – плавное перемещение по вертикали

При *строчном обзоре* иглообразным лучом (рис. 4)

$$T_{обз} = (\Phi_M - \theta_M)\Phi_б / \Psi_M \Omega_{ср}, \qquad (32)$$

$$T_{обл} = \theta_б / \Omega_{ср}, \qquad (33)$$

где Ψ_M – шаг луча в направлении медленного перемещения; $\Phi_б$, Φ_M – секторы обзора в направлении быстрого и медленного перемещения луча; $\Omega_{ср}$ – среднее значение угловой скорости быстрого перемещения луча; $\theta_б$, θ_M – ширина диаграммы направленности антенны (ДНА) в направлении быстрого и медленного перемещения.

При *спиральном обзоре* (рис. 5,а)

$$T_{обз} = T_{вр}(\Phi - 0,5\theta_{0,5}) / 2\Psi \approx T_{вр}\Phi / 2\Psi, \quad (34)$$

где $T_{вр}$ – период вращения луча вокруг оси OO', принимаемый постоянным, Φ – половина сектора обзора, $\theta_{0,5}$ – ширина симметричного иглообразного луча; $\Psi = (0,5 \ldots 0,8)\theta_{0,5}$ шаг луча.

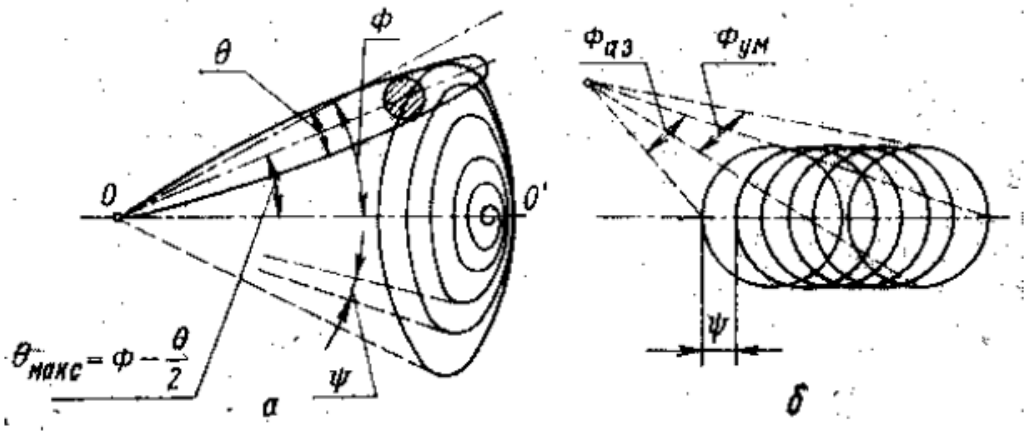

Рис. 5. Обзор иглообразным лучом: а – спиральный, б – поступательно-конический

Угловое перемещение β луча за один оборот вокруг оси OO' равно:

$$\beta = 360^\circ \sin\alpha, \quad (35)$$

где α – угол отклонения оси луча от оси OO'.

Угловая скорость луча

$$\Omega = (360^\circ / T_{вр}) \sin\alpha. \quad (36)$$

Время облучения цели при $\alpha \geq 0,5\theta_{0,5}$

$$T_{обл} = \theta_{0,5} T_{вр} / 360^\circ \sin\alpha. \quad (37)$$

При *поступательно-коническом обзоре* (рис. 5, б)

$$T_{обз} = T_{вр}(\Phi_{АЗ} - \theta_{0,5}) / \Psi \approx T_{вр}\Phi_{АЗ} / \Psi, \quad (38)$$

где $T_{вр}$ – период конического вращения; $\Phi_{АЗ}$ – сектор обзора по азимуту; $\theta_{0,5}$ – ширина симметричного иглообразного луча; Ψ – шаг траектории в направлении поступательного движения, равный (0,5 ... 0,8) $\theta_{0,5}$.

Угловая скорость луча и время облучения цели соответственно находятся по формулам:

$$\Omega = \frac{360^\circ}{T_{вр}} \sin\frac{\Phi_{УМ} - \theta_{0,5}}{2}, \quad (39)$$

$$T_{обл} = \theta_{0,5} T_{вр} 360^\circ \sin 0,5(\Phi_{УМ} - \theta_{0,5}), \quad (40)$$

где $\Phi_{УМ}$ – сектор обзора по углу места.

Задание. Изучить методы обзора пространства.

Решить следующие задачи, используя приведенные выше теоретические сведения.

2.1. Определить скорость вращения антенны РЛС кругового обзора, если время обзора 6 с.

2.3. Определить расстояние, которое пролетает самолет в направлен РЛС кругового обзора за время между двумя очередными отметка импульсов, полученных при облучении цели, если скорость вращен антенны 5 об/мин, а скорость самолета 1200 км/ч.

2.5. Определить количество импульсов, попадающих на цель за время прохода через нее луча в РЛС кругового обзора, если скорость вращения антенны 40 об/мин, ширина ДНА по азимуту 4°, частота повторения зондирующих импульсов 500 Гц.

Отчет должен содержать основные теоретические сведения и решение задач.

Занятие 3.

3. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

Измерение дальности радиолокационными методами базируется на предположении прямолинейного распространения радиоволн с постоянной скоростью. Следовательно, для измерения дальности до цели достаточно измерить время задержки отраженного от цели сигнала относительно излученного радиолокационного сигнала.

Методы измерения дальности подразделяются на *амплитудные*, *частотные* и *фазовые* в зависимости от того, какой из параметров принимаемых радиосигналов используется при измерении времени задержки.

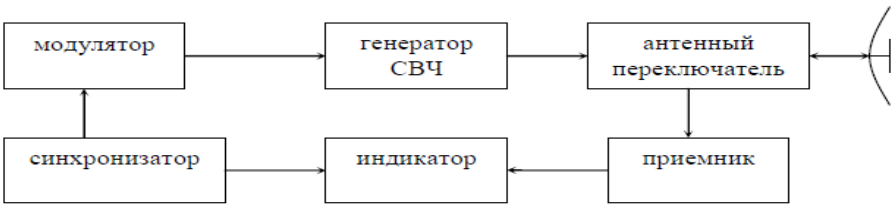

Рис. 6. Функциональная схема импульсного радиолокационного дальномера

Среди РЛС с амплитудным методом измерения дальности наибольшее распространение получили *импульсные станции*. Принцип их действия иллюстрируется схемой на рис. 6. Генератор высокой частоты, управляемый импульсным модулятором, генерирует короткие высокочастотные импульсы (зондирующие сигналы) с заданным периодом повторения.

Зондирующий сигнал может быть записан следующим образом:

$$u_{ген}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \psi_0) \quad \text{при } t_0 \le t \le t_0 + \tau_и,$$

где t_0 – начало отсчета на временной оси, совпадающее с началом импульса; $\tau_и$ – длительность импульса; U_0 – амплитуда колебаний; ψ_0 – начальная фаза колебаний.

На время излучения каждого импульса антенна подсоединяется к генератору с помощью антенного переключателя; все остальное время антенна подключена к приемнику. Отраженные от цели сигналы после преобразования в приемнике поступают к выходному устройству, где путем сопоставления моментов излучения зондирующего импульса и приема отраженного измеряется время запаздывания t_D. Синхронность процессов в передатчике РЛС и измерительном устройстве обеспечивает синхронизатор.

В качестве выходного устройства в импульсной РЛС может быть использована электронно-лучевая трубка с амплитудной или яркостной отметкой. Развертка луча по экрану трубки, как правило, осуществляется с постоянной скоростью. Работа схемы развертки синхронизирована с работой передатчика РЛС (рис. 7, а). Если на экране трубки расстояние между изображениями излученного и отраженного импульсов равно l (рис. 7, б), скорость развертки $\upsilon_{разв}$, то

$$t_D = l/\upsilon_{разв}. \qquad (41)$$

В качестве выходного устройства импульсного дальномера может быть использовано и автоматическое счетное устройство.

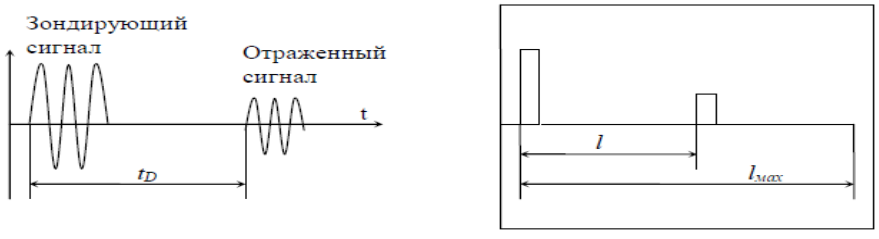

Рис. 7. К импульсному методу измерения дальности: а – эпюры напряжения, б – изображение на экране индикатора

Для импульсных дальномеров *диапазон однозначного измерения дальности* определяется периодом следования $T_п$ излучаемых импульсов

$$\Delta D_{одн} \le cT_п/2 . \qquad (42)$$

При частотном методе определения дальности РЛС излучает непрерывные колебания с частотной модуляцией. Время распространения определяется путем измерения разности частот излучаемых колебаний и отраженного сигнала. Схема частотной дальномерной РЛС приведена на рис. 8.

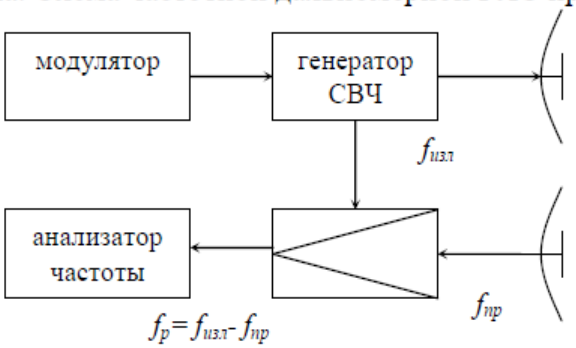

Рис. 8. Функциональная схема частотного дальномера

Передатчик формирует частотно-модулированные колебания. На рис.9, а сплошной линией показано изменение частоты излучаемых колебаний по *симметричному пилообразному закону*. На временных интервалах

$$t_0 + nT_м \le t \le t_0 + (2n+1)T_м/2,$$

$$u_{ген}(t) = U_0 \cos\left[2\pi\left(f_{мин}t + t^2 \Delta f_м / T_м\right) + \psi_0\right],$$

и на интервалах

$$t_0 + (2n+1)\,T_м/2 \le t \le t_0 + (n+1)\,T_м,$$

$$u_{ген}(t) = U_0 \cos\left[2\pi\left(f_{макс}\,t - t^2 \Delta f_м / T_м\right) + \psi_0\right],$$

где U_0 — амплитуда колебаний; $\Delta f_м = f_{макс} - f_{мин}$ — максимальное изменение (девиация) частоты; $T_м$ — период модуляции; $n = 0, 1, 2, 3\ldots$

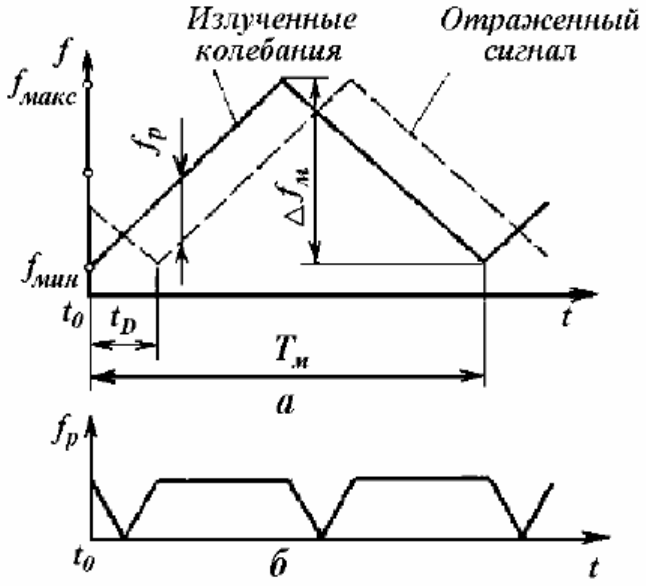

Рис. 9. К частотному измерению дальности:
а — изменение во времени частоты излучаемых и принимаемых колебаний;
б — разностная частота

Изменение частоты отраженного сигнала характеризуется тем же законом, но смещенным по оси времени на t_D (пунктирная линия на рис.9, а). Принятые и излучаемые колебания подаются в смеситель, на выходе которого образуется разностная частота f_p. График, характеризующий изменение f_p во времени, приведен на рис.9, б. Колебания с разностной частотой подводятся к анализатору частоты. Если время запаздывания t_D много меньше периода модуляции $T_м$, а разностная частота много больше частоты модуляции ($f_p >> F_м$), то с достаточной точностью справедлива формула

$$f_p = 2\,\Delta f_м\, t_D / T_м. \qquad (43)$$

Для дальности до цели соответственно получим

$$D = c\,T_м f_p / 4\Delta f_м. \qquad (44)$$

Интервал однозначного измерения дальности равен

$$\Delta D_{одн} = cT_м/4. \qquad (45)$$

К достоинствам частотных дальномеров с непрерывным излучением следует отнести простоту измерения очень малых расстояний и применение передатчиков относительно малой мощности. Основные недостатки рассмотренных РЛС свойственны всем станциям с непрерывным излучением: использование двух антенн, ухудшение чувствительности приема вследствие попадания в приемный тракт излучения передатчика. Специфическим недостатком является требование весьма высокой линейности изменения частоты для одновременного наблюдения за несколькими целями.

При наличии только одной цели (например, в радиовысотомерах) может быть применена *синусоидальная частотная модуляция*

$$u_{ген}(t)=U_0\cos(f_{изл}t + \psi_0) = U_0\cos[2\pi f_0 t+(\Delta f_м/2F_м)\sin 2\pi F_м t + \psi_0],$$

где $F_м = 1/T_м$ – частота модуляции; $T_м$ – период модуляции. В этом случае разностная частота изменяется по синусоидальному закону. Среднее значение модуля разностной частоты $|f_p|_{ср}$ однозначно связано с дальностью до цели:

$$D = cT_м\,|f_p|_{ср}/4\Delta f_м\,. \qquad (46)$$

Фазовые методы определения дальности основаны на измерении разности фаз излучаемых волн и принимаемых отраженных сигналов. Схема простейшего фазового дальномера изображена на рис.10.

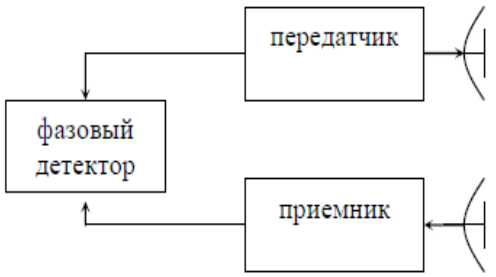

Рис. 10. Функциональная схема фазового дальномера

Излучаются немодулированные незатухающие колебания

$$u_{ген}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \psi_0) \qquad \text{при} \quad 0 \le t < \infty.$$

В фазовом детекторе осуществляется сравнение фаз принятого сигнала и излучаемых колебаний. С учетом фазового сдвига $\psi_{отр}$ волны при отражении от цели и сдвига фаз ψ_0, образующегося при прохождении сигналов по тракту РЛС, результирующая разность фаз указанных колебаний будет равна

$$\Delta\psi = 4\pi D/\lambda + \psi_{отр} + \psi_0 , \qquad (47)$$

где λ – длина волны зондирующего сигнала. Отсюда видно, что разность фаз $\Delta\psi$ зависит от дальности до цели.

Этот простейший метод имеет существенный недостаток – очень мал диапазон однозначного измерения дальности:

$$\Delta D_{одн} = \lambda/4 \qquad (48)$$

при условии, что диапазон однозначного измерения фазы равен π.

Диапазон однозначного измерения дальности фазовым методом можно резко увеличить, если применять амплитудную модуляцию излучаемых колебаний низкой частотой $F = c/\Lambda$; здесь Λ – длина волны низкочастотных колебаний. В этом случае

$$u_{ген}(t) = U_0(1 + m\cos 2\pi F t)\cos(\omega_0 t + \psi_0).$$

Сравнение фаз излученных и принятых колебаний производится на частоте модуляции F. Изменением фазы при отражении от цели на частоте F можно пренебречь. Тогда

$$\Delta\psi = 4\pi D/\Lambda = 4\pi F D/c, \qquad (49)$$

$$D = (c/4\pi F)\,\Delta\psi. \qquad (50)$$

Диапазон однозначного определения дальности определяется не высокой, а низкой частотой, следовательно,

$$\Delta D_{одн} = \Lambda/4. \qquad (51)$$

Более перспективными следует считать *двухчастотные фазовые дальномеры*. В подобных РЛС (рис. 11), создаются незатухающие колебания на двух близких частотах f_1 и f_2, которые излучаются в пространство. Принятые сигналы усиливаются каждый в своем тракте и поступают к первому смесителю. На выходе этого смесителя формируется напряжение разностной частоты $u_c(f_1—f_2)$. Аналогично формируется опорное напряжение разностной частоты $u_{оп}(f_1—f_2)$. Напряжения $u_c(t)$ и $u_{оп}(t)$ подводятся к фазовому детектору, где сравниваются их фазы. Выходное напряжение $U_{фд}$ фазового детектора позволяет определить дальность до цели. Допуская, что фазовые сдвиги при отражении одинаковы вследствие малой разности частот, определяется дальность до цели

$$D = c\Delta\psi_P / 4\pi\,(f_1 - f_2), \qquad (52)$$

где $\Delta\psi_p$ — разность фаз опорного напряжения и сигнала на разностной частоте, измеряемая фазовым детектором.

Диапазон однозначного измерения дальности равен

$$\Delta D_{одн} = c/4(f_1 - f_2). \qquad (53)$$

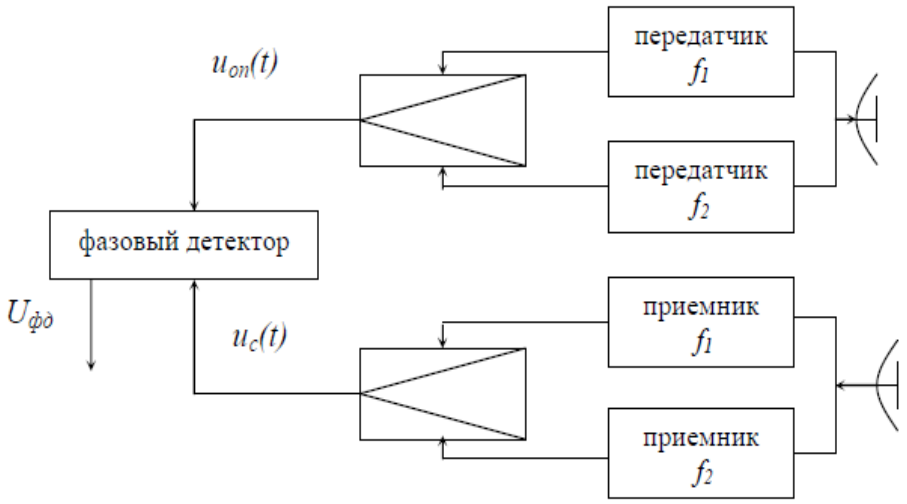

Рис. 11. Функциональная схема двухчастотного фазового дальномера

Общими достоинствами фазовых дальномеров всех типов является относительная простота собственно измерительного устройства и высокая точность измерении. Применительно к двухчастотному методу и методу с амплитудной модуляцией достоинством является большой диапазон однозначного измерения дальности. Фазовым дальномерам свойственны все недостатки, присущие устройствам с непрерывным излучением. Специфическим недостатком фазовых дальномеров является невозможность измерений при одновременном облучении двух и большего числа целей.

Задание. Изучить методы измерения дальности.

Решить следующие задачи, используя приведенные выше теоретические сведения.

Задачи

3.14. В РЛС используется частотный метод определения дальности. Определить дальность до цели, если разностная частота прямого и отраженного сигнала 7200 Гц, девиация частоты 10 МГц, а частота модуляции 120 Гц.

3.16. В радиовысотомере малых высот используется частотная модуляция. При этом частота сигнала равна 60 МГц, частота модуляции равна 150 Гц. Определить разностную частоту на высоте 100 м. Какой должна быть частота модуляции, чтобы на высоте 1000 м разностная частота осталась бы такой же, как на высоте 100 м?

3.17. Для полета в горной местности на самолете установлена РЛС с частотной модуляцией. Станция служит для предупреждения столкновений с препятствиями. Определить ошибку в показаниях РЛС по дальности, обусловленную эффектом Допплера, если радиальная скорость самолета 1260 км/ч, девиация частоты 2 МГц, период модуляции 0,01 с, средняя несущая частота 444 МГц.

3.19. При использовании двухчастотного фазового дальномера разность фаз колебаний, подводимых к фазовому детектору, составляет 36°, дальность до цели равна 40 км. Определить разность частот дальномера.

3.20. Определить применительно к условиям предыдущей задачи максимально возможные значения несущих частот дальномера, если относительная стабильность генераторов несущих частот равна 10^{-7}, а допустимые ошибки измерения дальности не должны превышать 3%.

3.21. Можно ли использовать двухчастотный фазовый дальномер при наличии нескольких целей?

3.8. Максимальная дальность действия радиолокационной станции равна 200 км. Какова скорость движения луча по экрану электронно-лучевой трубки, если длина линии развертки 50 мм?

3.9. В радиолокационной станции используется импульсный метод определения дальности. Определить расстояние до цели, если отметка на экране индикатора дальности находится на расстоянии 40 мм от начала линии развертки, период развертки равен 2000 мкс, развертка прямолинейная и равномерная, рабочий диаметр экрана электронно-лучевой трубки индикатора 100 мм.

Занятие 4.

4. РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РЛС ПО ДАЛЬНОСТИ, НАПРАВЛЕНИЮ И СКОРОСТИ

Разрешающая способность – одна из важнейших характеристик радиолокационных систем, определяющая способность раздельного наблюдения целей, имеющих малое различие в дальности, угловых координатах и скорости.

Реальная разрешающая способность РЛС по какой-либо координате может быть представлена в виде

$$\delta(\alpha) \approx \delta(\alpha)_{пот} + \sum_{i=1}^{n} \delta(\alpha)_i \,, \tag{54}$$

где $\delta(\alpha)_{пот}$ – потенциальная разрешающая способность, определяемая, формой сигнала и отношением энергии сигналов и шума; $\delta(\alpha)_i$ – ухудшение разрешающей способности в i-м узле устройства обработки сигнала; n – количество узлов устройства обработки сигнала.

Обычно наибольшие ухудшения вносит выходное устройство, поэтому можно принять

$$\delta(\alpha) \approx \delta(\alpha)_{пот} + \delta(\alpha)_{ву} \,. \tag{55}$$

При использовании в выходных устройствах электронно-лучевых трубок наибольшее ухудшение разрешающей способности вносится за счет конечных размеров пятна на экране (мишени).

При автоматическом съеме координат в устройстве, сопрягающем РЛС с цифровой вычислительной машиной, реальная разрешающая способность определяется ценой интервала эталонных (счетных) импульсов.

Разрешающая способность по дальности – минимальное расстояние между двумя целями, имеющими относительно РЛС одинаковые угловые координаты, при котором еще возможно раздельное наблюдение этих целей.

Разрешающая способность по дальности складывается из двух составляющих: а) $\delta(D)_{пот}$ – потенциальная, т. е. максимально достижимая для данной РЛС разрешающая способность; б) $\delta(D)_{инд}$ – индикаторная разрешающая способность, обусловленная характеристикой индикатора.

Потенциальная разрешающая способность по дальности $\delta(D)_{пот}$ определяется длительностью зондирующего сигнала и его формой.

Величина потенциальной разрешающей способности по дальности для прямоугольного сигнала определяется формулой

$$\delta(D)_{пот} = c\tau_u / 2 \,. \tag{56}$$

Величина потенциальной разрешающей способности по дальности для гауссовского сигнала определяется формулой

$$\delta(D)_{пот} = 0{,}66 \cdot c \cdot \tau_u \,. \tag{57}$$

Величина потенциальной разрешающей способности по дальности для сигнала в виде импульса гауссовой формы с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией равна

$$\delta(D)_{пот} = 0,66c\tau_{и} / k_{сж} = 0,66c / \Delta f_{M}, \quad (58)$$

где $\Delta\omega_{M} = 2\pi\Delta f_{M}$ – девиация частоты, $k_{сж} = \sqrt{1+(\Delta f_{M}\cdot\tau_{и})} \approx \Delta f_{M}\cdot\tau_{и}$ – коэффициент сжатия по длительности.

Индикаторная разрешающая способность по дальности $\delta(D)_{инд}$ зависит от размера электронного пятна на индикаторе. Чем меньше размер электронного пятна, тем лучше разрешающая способность. Для индикатора кругового обзора индикаторная разрешающая способность определяется следующим образом:

$$\delta(D)_{инд} = k \cdot d_{п}, \quad (59)$$

где $k = 2D_{max}/d_{экр}$; $d_{п}$ – диаметр рисующего пятна; $d_{экр}$ – диаметр экрана; D_{max} – максимальная дальность действия РЛС.

Диаметр рисующего пятна в свою очередь может быть найден как $d_{п} = d_{экр}/Q$, где Q – качество фокусировки электронно-лучевой трубки.

Таким образом, реальная разрешающая способность по дальности определяется следующим образом:

$$\delta(D)_{реал} = \delta(D)_{пот} + \delta(D)_{инд}. \quad (60)$$

Разрешающая способность по угловым координатам (азимуту и углу места) – это минимальный угол между двумя целями, находящимися на одной дальности относительно РЛС, при которой еще возможно их раздельное наблюдение.

Аналогично разрешающей способности по дальности, разрешающая способность по угловым координатам складывается из двух составляющих: а) $\delta(\alpha)_{пот}$, $\delta(\beta)_{пот}$ – потенциальной разрешающей способности по азимуту и углу места соответственно и б) $\delta(\alpha)_{инд}$, $\delta(\beta)_{инд}$ – индикаторной разрешающей способности по азимуту и углу места соответственно.

Потенциальная разрешающая способность по угловым координатам для обзорной РЛС при аппроксимации диаграммы направленности гауссовой кривой равна

$$\delta(\alpha)_{пот} = 1,3\Theta_{0,5}, \quad (61)$$

а при прямоугольной аппроксимации

$$\delta(\alpha)_{пот} = \Theta_{0,5}, \quad (62)$$

где $\theta_{0,5}$ – ширина диаграммы направленности антенны в плоскости разрешения на уровне 0,5.

Индикаторная разрешающая способность по угловым координатам $\delta(\alpha)_{инд}$, $\delta(\beta)_{инд}$ зависит от дальности цели от начала развертки.

$$\delta(\alpha)_{инд} = 0{,}573\frac{D_{шк}}{D_{ц} - D_{з}}, \text{ [град]} \qquad (63)$$

где $D_{шк}$ – отображаемая дальность шкалы индикатора; $D_{ц}$ – дальность до цели; $D_{з}$ – расстояние, соответствующее задержке начала развертки индикатора по дальности. Для уменьшения индикаторной составляющей разрешающей способности может применяться так называемый *открытый центр* развертки индикатора ($D_{з}< 0$). В некоторый случаях, например, при нахождении цели на значительной дальности, используется *закрытый центр* развертки ($D_{з}> 0$), ухудшающий разрешающую способность (см. рис. 13).

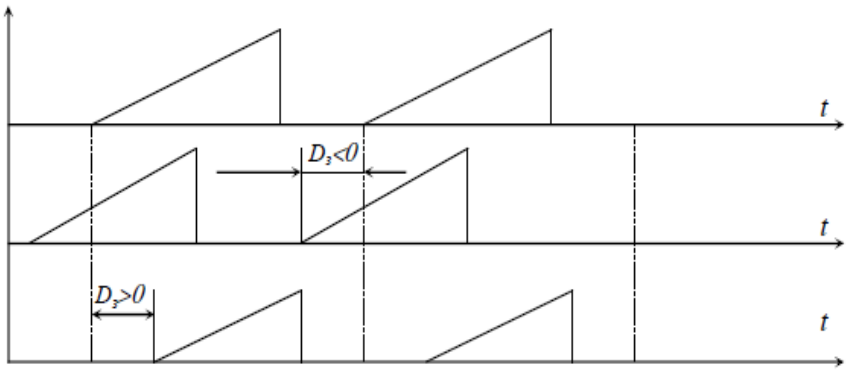

Рис. 13. Формирование открытого и закрытого центров развертки

Таким образом, реальная разрешающая способность по угловым координатам определяется следующим образом:

$$\delta(\alpha)_{реал} = \delta(\alpha)_{пот} + \delta(\alpha)_{инд} . \qquad (64)$$

Разрешающая способность по скорости – минимальное различие в скоростях двух целей, находящихся на одной дальности и угловых координатах относительно РЛС, при котором еще возможно раздельное наблюдение этих целей.

Разрешающая способность по скорости зависит от ширины спектра сигнала. Чем уже спектр зондирующего сигнала, тем выше разрешающая способность по скорости. В свою очередь ширина спектра сигнала зависит от его длительности.

Если для измерения скорости используется одиночный импульсный сигнал, то потенциальная разрешающая способность по скорости определяется следующим образом:

для сигнала прямоугольной формы

$$\delta(v_{р})_{пот} = 0{,}6 \cdot \lambda / \tau_{и} , \qquad (65)$$

для сигнала в виде импульса гауссовой формы

$$\delta(v_{р})_{пот} = 0{,}66 \cdot \lambda / \tau_{и} . \qquad (66)$$

Для сигнала в виде пачки из N_C когерентных импульсов разрешающая способность по дальности определяется по формулам для одиночного импульса, а разрешающая способность по скорости

$$\delta(v_{\text{р}})_{пот} = 0{,}5 \cdot \lambda / N_C T_n \,, \qquad (67)$$

где N_C – количество импульсов в пачке, T_n – период повторения зондирующих импульсов.

Потенциальную разрешающую способность ухудшают выходные устройства, в качестве которых часто используется либо линейка фильтров Допплера, либо следящий фильтр. В обоих случаях разрешающая способность $\delta(v_p)_{дф}$, определяемая выходным устройством, определяется шириной полосы пропускания фильтров.

Таким образом, реальная разрешающая способность по скорости определяется следующим образом:

$$\delta(v_p)_{\text{реал}} = \delta(v_p)_{\text{пот}} + \delta(v_p)_{дф} \,. \qquad (68)$$

Задание. Изучить методы оценки разрешающей способности по дальности,скорости, угловой разрешающей способности

Решить следующие задачи, используя приведенные выше теоретические сведения.

Задачи

4.1. Необходимо обеспечить потенциальную разрешающую способность РЛС по дальности не хуже 60 м. Какова должна быть длительность немодулированного зондирующего импульса с прямоугольной и гауссовой огибающей?

4.4. Определить разрешающую способность РЛС по дальности, если известно, что передатчик генерирует радиоимпульсы прямоугольной формы, средняя мощность, потребляемая передатчиком от источника питания, составляет 100 Вт. Мощность радиоимпульса 1000 кВт, средний КПД при преобразовании энергии источника питания в энергию высокочастотных колебаний 0,52. В РЛС применен индикатор кругового обзора с диаметром экрана 300 мм, диаметром электронного пятна 0,5 мм. Максимальная дальность обнаружения целей составляет 400 км.

4.5. Проектируемая радиолокационная станция должна иметь минимальную дальность действия 160 м и разрешающую способность по дальности не хуже 140 м. Определить необходимую длительность импульса, если время восстановления разрядника, применяемого в качестве антенного переключателя, равно 0,2 мкс.

4.11. С помощью когерентно-импульсной радиолокационной станции, работающей на частоте 300 МГц, ведется наблюдение за самолетом, летящим в облаке дипольных отражателей с радиальной скоростью 1100 км/ч. Определить разницу в допплеровских частотах отраженных сигналов, если отражатели сносятся ветром от станции со скоростью 50 км/ч.

Отчет должен содержать основные теоретические сведения и решение задач.

Занятие 5.

5. СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ. ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ЦЕЛИ ИМПУЛЬСНЫМИ РЛС

При обнаружении целей и измерении их координат и параметров движения на фоне местных предметов, гидрометеоров, подстилающей поверхности и умышленных пассивных помех возникает необходимость режекции (фильтрования) мешающих отражений от сигналов движущихся целей. Селекция движущихся целей и измерение радиальной скорости движения цели основаны на использовании эффекта Допплера, заключающегося в том, что частоты излучаемых и принимаемых колебаний различны.

Если приемник перемещается относительно источника излучения, то частоты излучаемых f_0 и принимаемых $f_{пр}$ колебаний при условии $\upsilon << c$ связаны соотношением

$$f_{пр} \approx f_0 (1 - \upsilon_р/c), \quad (69)$$

где υ – модуль скорости движения цели; c – скорость света.

Величина

$$f_0 \upsilon_р/c = \upsilon_р/\lambda = F_д \quad (70)$$

представляет собой допплеровское смещение частоты сигнала, а радиальная составляющая скорости цели выражается равенством

$$\upsilon_Р = \lambda F_д. \quad (71)$$

В радиолокации, где чаще всего используются отраженные от цели сигналы, значение допплеровского смещения приближенно удваивается. Допустив, что передатчик и приемник расположены в одной точке, а цель движется со скоростью υ, получим, что частота принимаемых сигналов при $\upsilon_р << c$ равна

$$f_{пр} \approx f_0 (1 - 2\upsilon_р/c), \quad (72)$$

откуда допплеровское смещение частоты равно

$$F_д = 2f_0 \upsilon_р/c = 2\upsilon_Р/\lambda, \quad (73)$$

а радиальная скорость

$$\upsilon_р = 0{,}5F_д\lambda. \quad (74)$$

На практике сравнение частоты принятых колебаний с частотой опорного генератора производится с помощью фазового детектора, на один вход которого поступает отраженный сигнал с приемника, а на другой вход – опорное напряжение.

На выходе фазового детектора формируются видеоимпульсы, амплитуда которых зависит от разности фаз $\Delta\psi$ между напряжением сигнала и опорным напряжением. Если цель неподвижна, то этот фазовый сдвиг постоянен и постоянна амплитуда U импульсов напряжения на выходе фазового детектора (рис.15, а). При движении цели относительно РЛС огибающая видеоимпульсов на выходе фазового детектора оказывается промодулированной некоторой частотой $F_м$ (рис.15, б).

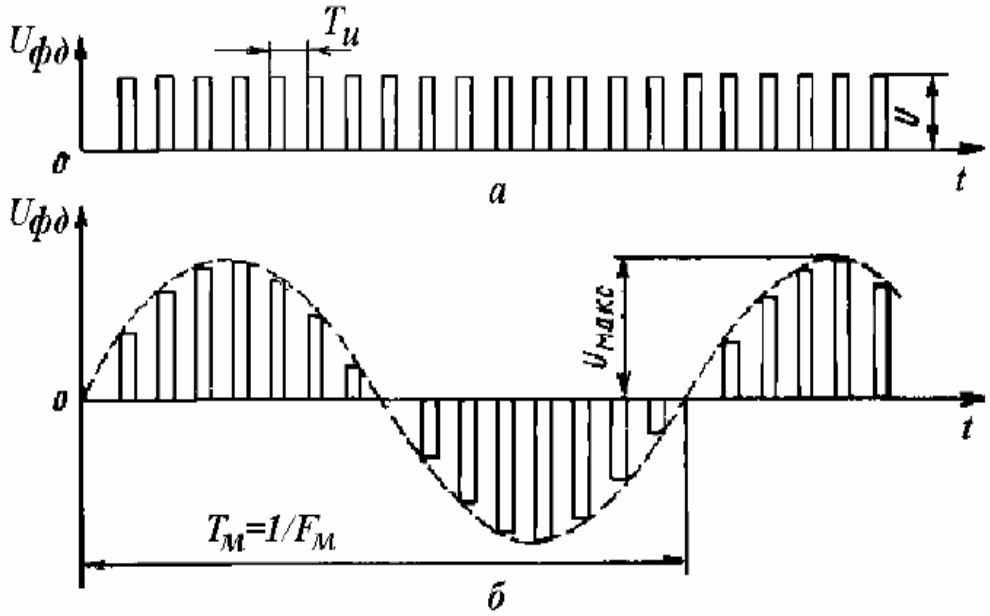

Рис. 15. Видеоимпульсы на выходе фазового детектора: а – при отражениях от местных предметов, б – при отражениях от движущейся цели

Для измерения допплеровских частот отраженных сигналов используются *когерентные радиолокационные станции*, характеризующиеся когерентностью излучаемых колебаний. Колебания называют когерентными, если их начальная фаза либо постоянна, либо изменяется детерминировано.

Когерентные РЛС подразделяются на РЛС с внешней и внутренней когерентностью в зависимости от расположения источника опорного сигнала. В РЛС с внешней когерентностью в качестве опорных применяют сигналы, отраженные от пассивной помехи. Опорный сигнал формируется с помощью помехового гетеродина, фазируемого помехой, опережающей полезный сигнал. В РЛС с внутренней когерентностью источником опорного сигнала служит когерентный гетеродин, который может фазироваться сигналом генератора СВЧ (псевдокогерентная РЛС) или служить задающим генератором (истинно когерентные РЛС).

Если передатчик РЛС формирует колебание

$$u_{пер}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \psi_0) \quad \text{при} \quad 0 \le t < \infty,$$

то отраженный сигнал на входе приемника

$$u_{пр}(t) = U_0 \cos[\omega_0 (t - t_D) + \psi_0 + \psi_{отр}],$$

где $t_D = 2D/c = 2(D_0 - v_р t)/c$ – время запаздывания отраженной волны; D – текущая дальность до цели; D_0 – дальность до цели в момент начала отсчета при $t=0$; $\psi_{отр}$ – изменение фазы волны при отражении от цели. Два рассмотренных колебания являются когерентными. Разность фаз излучаемых и принимаемых колебаний равна $\Delta\psi = -\omega_0 t_D + \psi_{отр}$.

Если фазу $\psi_{отр}$ считать постоянной, что справедливо при медленных флуктуациях цели, то разность фаз $\Delta\psi$ окажется детерминированной функцией времени:

$$\Delta\psi = 2 v_P \omega_0 t/c + const. \qquad (75)$$

Сопоставление двух указанных колебаний позволит выделить допплеровскую частоту $\Omega_д = 2v_р\omega_0/c$ сигнала и определить радиальную составляющую скорости цели.

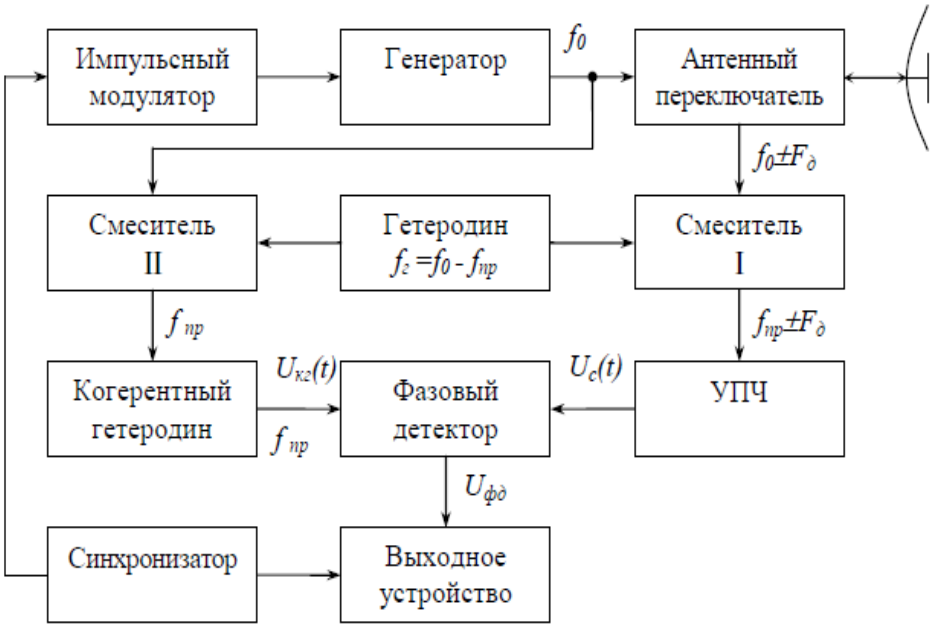

Рис. 16. Функциональная схема псевдокогерентной импульсной РЛС

На рис. 16 изображена схема псевдокогерентной импульсной РЛС с фазируемым когерентным гетеродином. Особенность станций такого типа состоит в том, что импульсы высокочастотного генератора некогерентны, т. к. передатчик РЛС формирует зондирующий сигнал, имеющий случайную начальную фазу:

$$u_г(t) = U_г \cos(\omega_0 t - \psi_{гn}) \qquad \text{при} \qquad 0 \le t_n \le \tau_и ,$$

где t_n – время, отсчитываемое от начала n-го периода повторения; $\psi_{гn}$ – фаза n-го импульса, являющаяся величиной случайной, $\tau_и$ – длительность импульса.

Эти импульсы фазируют колебания когерентного гетеродина

$$u_{кг}(t) = U_{кг}\cos(\omega_{кг}t_n - \psi_{кгn}), \quad \text{при} \qquad 0 \le t_n \le T_n.$$

Когерентный гетеродин вырабатывает высокостабильные колебания на промежуточной частоте, используемые в качестве опорных для фазового детектора. Длительность существования этих колебаний должна быть равна времени задержки сигналов, отраженных от цели, находящейся на максимальной дальности действия РЛС. Поэтому период повторения зондирующих импульсов в псевдокогерентных РЛС выбирается исходя из условия однозначного измерения дальности

$$T_n \ge t_{зад.max} = 2D_{max}/c , \qquad (76)$$

где $t_{зад.max}$ – максимальное время задержки отраженного сигнала; D_{max} – максимальная дальность действия РЛС; c – скорость света.

Особенность когерентно-импульсных станций состоит в том, что линейная зависимость между допплеровской частотой $F_д$ и частотой $F_м$ амплитудной модуляции импульсных сигналов на выходе фазового детектора имеет место лишь при выполнении условия

$$F_д \le 0{,}5F_п\,, \qquad (77)$$

где $F_п$ – частота следования импульсов РЛС. При возрастании допплеровского смещения $F_д$ частоты сигнала изменение частоты $F_м$ амплитудной модуляции выходных видеоимпульсов происходит по симметричному пилообразному закону (рис.17).

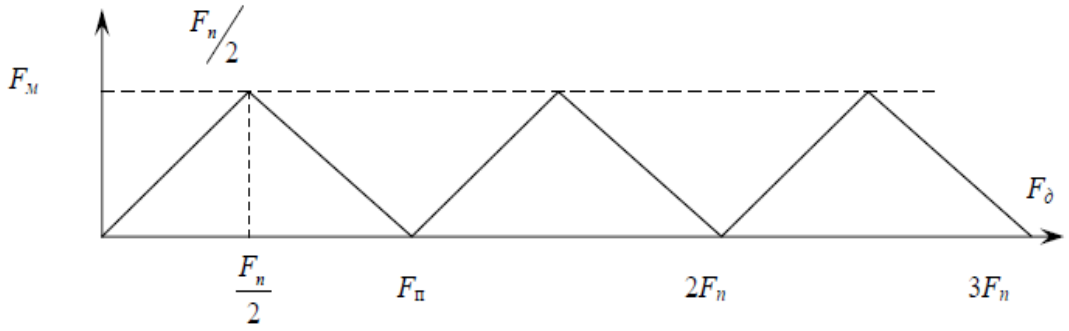

Рис. 17. Зависимость частоты амплитудной модуляции $F_м$ импульсных сигналов на выходе фазового детектора от допплеровского смещения $F_д$

Таким образом, диапазон однозначно измеряемых, допплеровских частот равен $0{,}5F_п$. При использовании когерентно-импульсных РЛС движущаяся цель воспринимается как неподвижная, если допплеровская частота кратна частоте следования импульсов РЛС

$$F_д = kF_п, \qquad (78)$$

где k – целое число. В этом случае амплитуда импульсов на выходе фазового детектора постоянна.

Из (73) и (78) следует, что движущаяся цель воспринимается как неподвижная при выполнении следующего равенства (рис. 17):

$$(2\upsilon/\lambda)\cos\alpha = kF_п. \qquad (79)$$

При заданной скорости υ движения цели значения углов α, для которых справедлива формула (79), называются «слепыми». При заданном направлении движения цели относительно линии «РЛС – цель» формула (79) позволяет определить «слепые» значения скорости полета цели.

Наличие «слепых» скоростей и направлений является существенным недостатком импульсно-когерентных РЛС. В связи с ограниченными возможностями когерентно-импульсных РЛС по измерению радиальной скорости обычно их используют для обеспечения решения задач селекции движущихся целей.

Примером *истинно когерентной импульсной РЛС* является станция, схема которой изображена на рис. 18.

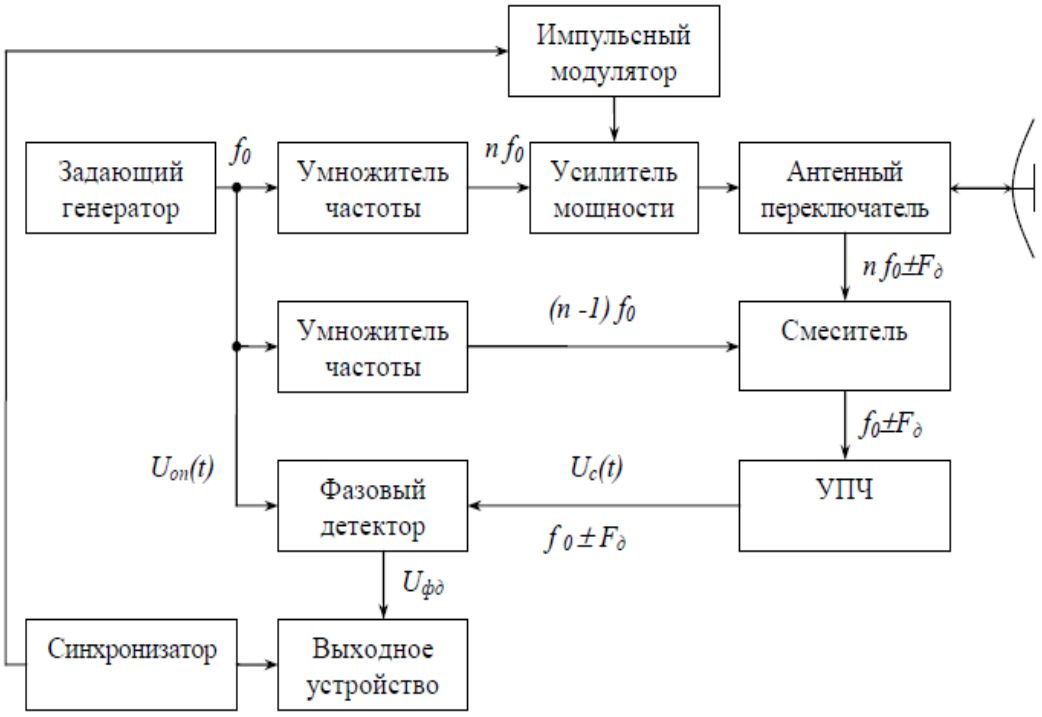

Рис. 18. Функциональная схема истинно когерентной импульсной РЛС

В станциях такого типа задающий генератор работает на частоте, равной промежуточной частоте $f_{пр}$ приемника. Для создания зондирующего сигнала колебания задающего генератора умножаются по частоте в n раз, усиливаются по мощности и проходят через каскад импульсной модуляции. В качестве гетеродина приемника используется схема умножения частоты задающих колебаний $(n\text{-}1)$ раз. В фазовом детекторе в качестве опорных используются колебания задающего генератора. Для обеспечения когерентности задающий генератор должен характеризоваться высокой стабильностью создаваемых колебаний.

Особенность истинно когерентных РЛС состоит в том, что когерентность зондирующих импульсов между собой позволяет принимать отраженные от цели сигналы в другом периоде зондирования. Таким образом, появляется возможность выбрать частоту повторения зондирующих импульсов исходя из условия однозначного измерения скорости

$$F_п \geq 2\, F_{д.max}. \qquad (80)$$

Однако в этом случае дальность будет измеряться неоднозначно. Кроме того, при использовании одной антенны, работающей на прием и передачу, возможен эффект «слепых» дальностей. Если отраженный сигнал поступит в антенну в момент излучения зондирующего сигнала, то в связи с тем, что приемник «закрыт» антенным переключателем, отраженный сигнал будет потерян.

«Слепые» дальности определяются следующим образом:

$$D_{сл} = n \cdot c \cdot T_п / 2, \qquad (81)$$

где $T_п$ – период повторения зондирующих импульсов; n – номер периода повторения.

Истинно когерентные импульсные РЛС применяются при необходимости измерения радиальной скорости цели.

Задание. Изучить методы оценки селекции движущихся целей Решить следующие задачи, используя приведенные выше теоретические сведения.

Задачи.

5.1. Передатчик УКВ станции самолета, летящего со скоростью 900 км/ч по направлению к неподвижному радиоприемнику, настроен на частоту 180 МГц. Определить частоту Допплера.

5.2. Определить радиальную скорость самолета, летящего в направлении РЛС, если несущая частота РЛС составляет 1 ГГц, а частота Допплера, измеренная на выходе приемника, 800 Гц.

5.9. Разведывательный самолет совершает полет вокруг импульсно-когерентной РЛС по окружности со скоростью 500 км/ч. Будет ли он наблюдаться на экране индикатора, если рабочая длина волны РЛС 0,15 м, а частота повторения зондирующих импульсов 5 кГц?

5.14. Цель приближается к истинно когерентной РЛС. На каких дальностях цели от РЛС отметки от цели будут отсутствовать, если РЛС имеет следующие характеристики: частота повторения зондирующих импульсов 100 кГц, максимальная дальность обнаружения 20 км.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

К а ф е д р а "Электронные системы и информационная безопасность"

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Самара 2015

Лабораторная работа 2

Оценка основных характеристик космических радиолиний.

Цель работы

Изучение видов и основных свойств информации, различных видов кодирования, определение основных характеристик информации для получения навыков и умений правильно выбрать канал связи и вид кодирования

Краткие теоретические сведения

Информация, с точки зрения ее защиты, обладает следующими основными свойствами:

1. Объектами защиты являются материальные носители информации, т.к. только в этом случае она доступна человеку.
2. Ценность информации оценивается степенью полезности ее для пользователя (собственника, получателя).
3. Информация - это товар, имеющий свою цену и ценность.
4. Ценность информации изменяется со временем.
5. Количество информации невозможно объективно определить без учета ее полезности для потребителя (владельца).
6. Количество информации не меняется при копировании, если не изменяются информационные параметры носителя, а цена снижается.

Любую информацию, по ее содержанию, можно разделить на семантическую и признаковую.

Семантическая (содержащая смысл - лат.) - продукт абстрактного мышления человека и отображает объекты, явления материального мира и создаваемые им образы с помощью символов на языках общения людей. Ее смысл не зависит от характеристик носителя информации.

Языки общения могут быть как языки национального общения, так и искусственные, профессиональные. Языки национального общения формируются в процессе развития нации и течение длительного времени.

На языке национального общения семантическая информация представляется в виде упорядоченной последовательности знаков алфавита этого языка и записывается на любом материальном носителе.

Профессиональные языки создаются специалистами для компактного и экономного отображения информации. Так как любая предметная область содержит характерные для нее понятия обозначения, то для понимания их всеми специалистами термины и условные обозначения стандартизуются. Кроме того, для ввода информации в мозг человека используют носители различной физической природы (зрительный канал, акустический, органы обоняния, тактильные рецепторы).

Порядок проведения работы

1. Изучите краткие теоретические сведения, приведенные выше.
2. Для одной страницы выбранного технического текста, указанного преподавателем, определить частоту повторения используемых символов,
3. Закодировать выбранную страницу текста с помощью двоичного кодирования и затем определить коэффициент избыточности и коэффициент сжатия, энтропию.
4. Подготовьте отчет по результатам практического занятия.

Лабораторная работа 3

Радиолиния с время-импульсной модуляцией

Краткие теоретические сведения

преобразуется во временные интервалы. В данном случае в каждом канале коэффициент команды

$$\chi_к = (T_1 - T_2)/(T_1 + T_2), \qquad (4.4)$$

где T_1, T_2 — временные интервалы, границы которых определяются тактовым и рабочим импульсами (в каждом канале эти интервалы изменяются независимо в соответствии с передаваемыми командами $u_{кс\,I}$ и $u_{кс\,II}$) (рис. 4.2, *б*, *в*). Коэффициент передачи $k_{прд}$ в данном случае согласно (4.2) определяется параметрами преобразователя канала (рис. 4.1).

В рассматриваемой радиолинии возможны различные структуры модулирующего сигнала $u_{мод}(t)$. Наиболее применим способ, в котором каждый импульс (тактовый или рабочий) заменяются кодовой группой импульсов, формируемой шифратором, — импульсно-временным сигналом (ИВС). Параметрами ИВС являются число импульсов в кодовой группе n_c, длительность импульсов $\tau_{имп}$ и временные интервалы между отдельными импульсами.

Модулирующий сигнал (рис. 4.2) является суммой трех различных ИВС: тактового и двух рабочих. Тактовый сигнал — синхронизирующий, предназначается для создания меток времени, которые используют в качестве начала отсчета временных интервалов. При непрерывной передаче команд тактовые сигналы образуют периодическую последовательность с периодом $T_{мн}$. Рабочие сигналы каналов ($РС_I$ и $РС_{II}$) служат для передачи соответствующих временных интервалов.

В такой радиолинии возможны различные способы уплотнения каналов. При ***структурном уплотнении*** (т. е. уплотнении по форме сигналов) рабочие импульсы каждого канала перемещаются в пределах полного периода $T_{мн}$. В этом случае разделе-

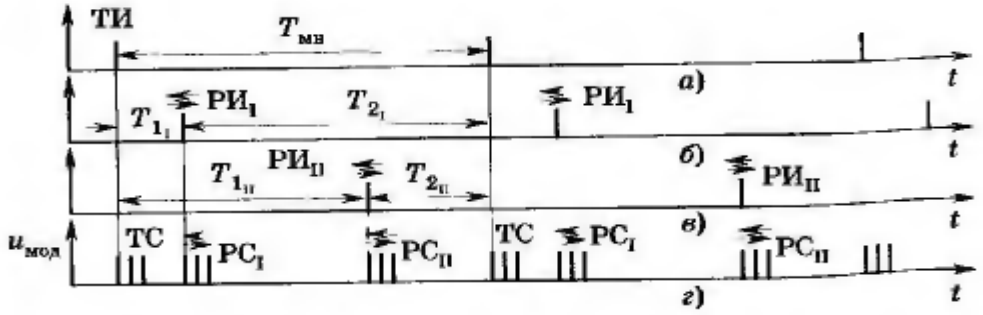

Рис. 4.2. Временные диаграммы формирования модулирующего сигнала $u_{мод}$ в радиолинии ВИМ (ИВС)—АМ

ние каналов основано на различии параметров ИВС. Очевидно, нужны ИВС, которые обеспечивают незначительное взаимное влияние каналов с учетом возможности перекрытия сигналов различных каналов по времени и при наличии помех.

При ***структурно-временном уплотнении*** каналов рабочий импульс канала I может перемещаться в пределах одной половины периода $T_{мн}$, а рабочий импульс канала II — в пределах второй половины этого периода. Тем самым исключается перекрытие рабочих сигналов во времени и, следовательно, устраняются взаимные помехи при совпадении импульсов каналов. Для разделения каналов при этом также используется различие в параметрах ИВС.

При ***временном уплотнении*** каналов в приемном тракте для разделения применяют стробирование первой и второй половин периода. Поэтому с точки зрения разделения каналов рабочие ИВС становятся необязательными. Однако такие сигналы обеспечивают повышение помехозащищенности КРЛ за счет снижения вероятности образования ложных команд в паузе при действии помех.

Несущее колебание модулируется по амплитуде импульсным сигналом $u_{мод}(t)$, в результате чего формируется излучаемый сигнал ВИМ (ИВС)—АМ.

В приемном устройстве производится амплитудное детектирование несущего колебания. Тактовые и рабочие ИВС разделяются соответствующими дешифраторами. На вход дешифраторов поступают импульсы стандартной формы, которые вырабатываются из принятого сигнала с помощью формирующего каскада. Эти импульсы нормированы по амплитуде и по длительности; тем самым ослабляется влияние различных искажений принятого сигнала, возникающих под действием помех.

С выхода дешифраторов снимаются тактовые и рабочие импульсы (ТИ, $РИ_I$, $РИ_{II}$, рис. 4.1), которые запускают триггеры соответствующих каналов. На выходе триггеров вырабатываются сигналы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), которые затем преобразуются в непрерывные командные сигналы ($u_{кI}$ и $u_{кП}$). Эта часть приемного тракта представляет собой демодулятор ШИМ, параметры которого определяют коэффициент передачи $k_{прм}$ согласно (4.3). При передаче нулевых значений команд ($\chi_{кI} = \chi_{кII} = 0$) должно выполняться условие $u_{кI} = u_{кП} = 0$. Поэтому при формировании сигналов $u_{кI}$ и $u_{кП}$ учитывается способ уплотнения каналов КРЛ. При структурно-временном и временном уплотнении каналов используются несимметричные временные интервалы ($T_1 \neq T_2$ при $\chi_к = 0$).

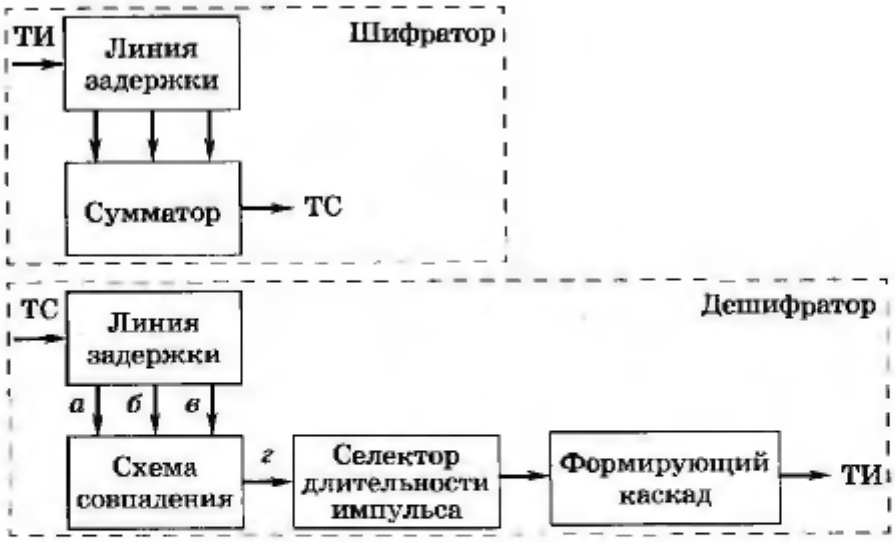

Рис. 4.3. Структурные схемы шифратора и дешифратора ИВС

Соответственно изменяется постоянная составляющая выходного напряжения фильтра, включенного после триггера. (При методе структурного уплотнения, когда $\chi_к = 0$, выполняется условие $T_1 = T_2$.) Для компенсации этих изменений можно предусмотреть, например, несимметричную первоначальную балансировку демодуляторов ШИМ. В этом случае коэффициент передачи приемного тракта уменьшается в два раза по сравнению с КРЛ, в которой рабочий сигнал каждого канала может перемещаться в пределах полного периода $T_{мн}$.

На рис. 4.3 показаны схемы шифратора и дешифратора, для построения которых можно использовать линии задержки. Временные интервалы между импульсами ИВС определяются отводами линии задержки шифратора, с которых снимаются отдельные импульсы ИВС. Дешифратор содержит схему совпадения, подключаемую к соответствующим отводам линии задержки. Эти отводы должны быть согласованы с отводами линии задержки шифратора. Тем самым в момент окончания принятого ИВС обеспечивается совпадение отдельных импульсов этого сигнала на отводах линии задержки дешифратора и на выходе образуется результирующий импульс (рис. 4.4). К выходу схемы совпадения подключен селектор дли-

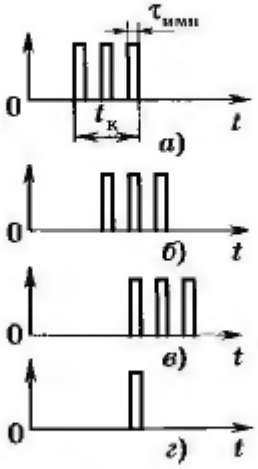

Рис. 4.4. Временные диаграммы процессов в дешифраторе ИВС

Выбрать схемы электрические принципиальные шифратора и дешифратора сигналов и смоделировать их работу на программе Multisim/

Лабораторная работа 4

Радиодальномеры.

Краткие теоретические данные

7.2.2. Радиовысотомеры и радиодальномеры

Эти радиоустройства [4] используют соответственно вертикальное и наклонное излучения радиоволн в направлении отражающей поверхности радиоориентира (см. рис. 7.2, *а*). Их общий принцип построения аналогичен принципам построения радиодальномеров для измерений дальностей до точечных объектов в радиолокации [1]. Однако они отличаются видом опорного сигнала $u_{оп}(t)$ и распределенной структурой дискриминатора, который раздельно обрабатывает радиосигнал при каждом значении задержки τ_R и доплеровского сдвига частоты $f_Д$.

Радиодальномеры (РД) используются для косвенного измерения высоты исходя из соотношения $H_0 = R_0 \cos \theta_в$, где R_0 —

наклонная дальность до поверхности вдоль оси $x'_а$ ДНА, $\theta_а$ — известный угол отклонения оси $x'_а$ относительно нормали $z_{оп}$ к среднему уровню отражающей (опорной) поверхности (рис. 7.2, *а*). Необходимость косвенного измерения высоты обычно диктуется конструктивными особенностями построения АРС в целом (например, при одновременном измерении высоты, скорости и углов ориентации). Кроме того, наличие нескольких дальномерных каналов позволяет получать более информативный объемный образ рельефа местности в КЭНС (см. разд. 7.4).

Диаграмма направленности антенны (совместно на передачу и прием) (рис. 7.2, *а*) имеет эффективную ширину $\Delta\theta_{2а}$. Необходимая ширина определяется конструктивными ограничениями, требуемым энергетическим потенциалом и в основном эволюциями ЛА, влияющими на смещение оценки. Поэтому обычно берут $\Delta\theta_{2а}/2 > \gamma_{кр}$, где $\gamma_{кр}$ — угол крена ЛА.

Излучаемый сигнал РВ или РД может иметь различную модуляцию: импульсную, частотную, фазокодовую и т. д. Наиболее употребительны импульсная модуляция в РВ больших высот (1,5...15 км) и частотная — в РВ малых высот (0...1,5 км). Для орбитальных РВ на высоте 150...300 км используют более сложную модуляцию, например импульсную с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ).

Для иллюстрации специфики работы импульсного РВ рассмотрим отраженный импульс, представленный на видеочастоте. На рис. 7.2, *б* изображена мгновенная мощность импульса, т. е. квадрат его амплитуды $A_0^2(t - \tau_R)$, где t — текущее время, $\tau_R = 2R/c$ — задержка для произвольной дальности R от отражающей поверхности, c — скорость распространения радиоволн.

Мгновенная мощность A_0^2 от разных участков отражающей поверхности для направлений $\mathbf{H}_0$, $\mathbf{R}_1$, $\mathbf{R}_2$, ..., $\mathbf{R}_i$ на рис. 7.2, *б* различна, что показано для соответствующих значений задержек: $\tau_{H_0} = 2H_0/c$, $\tau_{R_1} = 2R_1/c$,..., $\tau_{R_i} = 2R_i/c$ и т. д. Как видно из рис. 7.2, *б*, задержку импульса (значение τ_{H_0}) невозможно измерить непосредственно по фронту, так как уровень отраженного сигнала при τ_{H_0} весьма мал. Поэтому обычно производится обработка импульса в некоторой области задержек, например (τ_{H_0} ... τ_{R_2}). Способ обработки весьма важен, так как он определяет погрешность измерений $\Delta H_0(t) = H_0^*(t) - H_0(t)$, где $H_0^*(t)$ — текущая измеренная высота, а $H_0(t)$ — истинная высота полета ЛА.

При высокостабильной аппаратуре флуктуационная погрешность определяется отмеченными ранее тремя составляющими (7.2). Оценка высоты H_0^* смещается в основном по двум причинам: из-за протяженности области рассеяния на поверхности и из-за эволюций ЛА по крену и тангажу, при которых отклоняется на угол $\theta_а$ (рис. 7.2, *а*) ось ДНА радиовысотомера и соответственно изменяется расположение области $S_{обл}$ рассеяния. Поскольку в пределах ширины $\Delta\theta_{2а}$ принятый сигнал имеет распределенную структуру по задержкам τ_{H_0}, τ_{R_1}, τ_{R_2}, ..., τ_{R_i}, то средняя оценка высоты лежит в диапазоне $(H_0 \ldots R_i)$ и определяется способом обработки.

При широко используемом интегральном способе обработки, когда обрабатывается весь радиосигнал, оценка задержки $\tau_{H_0}^* = 2H_0^*/c$ определяется как средневзвешенное значение (центр тяжести) заштрихованной фигуры на рис. 7.2, *б*. Конкретное распределение мощности сигнала по задержкам (вид зависимости $A_0^2(t - \tau_R)$) и ошибка, вызванная смещением оценки, не зависят от вида модуляции и определяются только формами ДОР и ДНА. При аппроксимации ДОР и ДНА в виде гауссовских фигур вращения относительное смещение оценки высоты

$$\delta_{Hсм} = \frac{\overline{H}_0^* - H_0}{H_0} = \frac{\Delta\theta_{эф}^2}{2\pi} + \frac{\Delta\theta_{эф}^4\theta_а^2}{2\Delta\theta_{2а}^4}, \qquad (7.3)$$

где $\overline{H}_0^*$ — среднее значение оценки; $\Delta\theta_{эф} \approx \Delta\theta_{2а}\Delta\theta_{ор}[\Delta\theta_{ор}^2 + \Delta\theta_{2а}^2(1 + \Delta\theta_{ор}^2)\sec^4\theta_а]^{-1/2}$ — эффективная угловая ширина области рассеяния радиоволн на поверхности (см. рис. 7.2, *а*), зависящая от $\Delta\theta_{2а} \approx \Delta\theta_а\sqrt{2}$, $\Delta\theta_а$ — эффективная ширина диаграммы направленности по мощности передающей (приемной) антенны в радианах; $\Delta\theta_{ор}$ — эффективная ширина диаграммы обратного рассеяния шероховатой поверхности в радианах.

В радиодальномере относительное смещение $\delta_{Rсм}$ средней оценки $\overline{R}_0^*$ измеряемой дальности $R_0 = H_0 \sec\theta_а$ до среднего уровня отражающей поверхности вдоль оси $x_а'$ (см. рис. 7.2, *а*) при гауссовской аппроксимации ДНА и ДОР равно

$$\delta_{Rсм} = \frac{\overline{R}_0^* - R_0}{R_0} \approx$$

$$\approx -\Delta\theta_{2а}^2(1 + \Delta\theta_{ор}^2)\sin^2\theta_а[\Delta\theta_{2а}^2(1 + \Delta\theta_{ор}^2) + \Delta\theta_{ор}^2\cos^4\theta_а]^{-1}, \quad (7.4)$$

Лабораторная работа 5

Корреляционный измеритель скорости.

Корреляционный измеритель скорости (КИС) использует пространственно-временной метод обработки радиосигналов, принятых тремя-четырьмя разнесенными антеннами с широкими диаграммами направленности, оси которых ориентированы в окрестности нормали $\mathbf{H}_0$. Поэтому КИС существенно лучше ДИС по энергетике и по ошибкам, связанным с ДОР. Однако конструкция его достаточно сложна, а работа нестабильна при эволюциях ЛА.

Принцип действия КИС (рис. 7.5) проиллюстрирован на примере двух приемных антенн A_1, A_2, разнесенных на базу $d = 2d_0$, и одной передающей антенны A_0, расположенной между ними. Предполагается, что вектор скорости $\mathbf{v}_0$ направ-

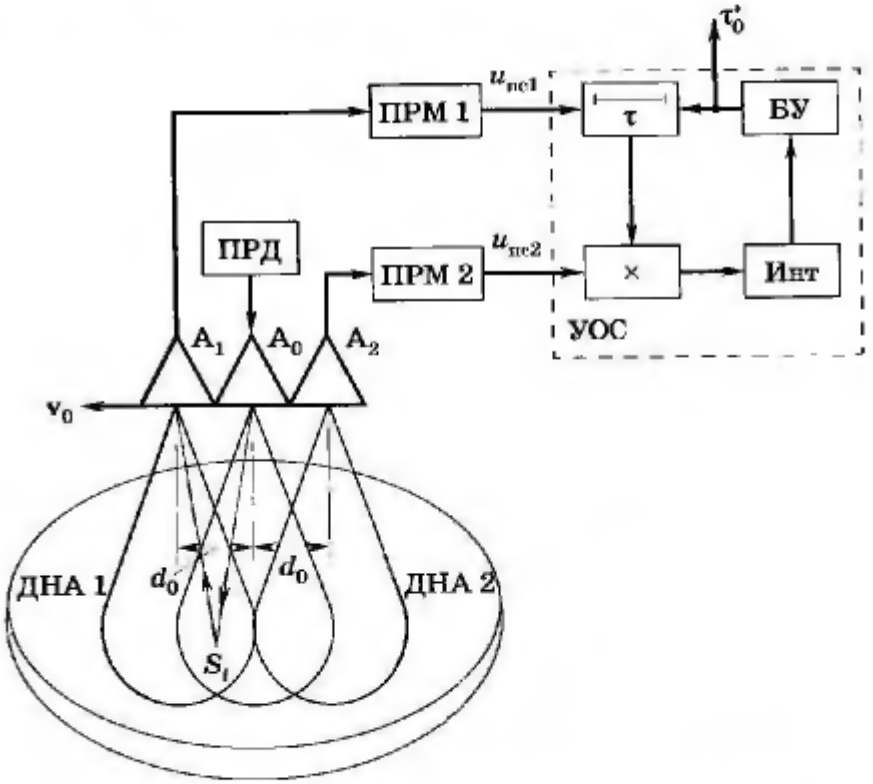

Рис. 7.5. Структурная схема корреляционного измерителя скорости

лен вдоль базы d и антенны последовательно во времени занимают места друг друга.

Для произвольного отражателя S_i на поверхности образуется путь $A_0S_iA_1$ прохождения радиоволн от передатчика к приемнику первого канала *ПРМ 1*. Через интервал времени τ_0 (время смещения ЛА на половину базы $d/2 = v_0\tau_0$) антенна A_0 займет положение A_1, а антенна A_2 — положение A_0, и тот же самый путь образуется при прохождении радиоволн в антенну A_2 приемника второго канала *ПРМ 2*. Следовательно, принятые радиосигналы от S_i будут одинаковые в A_1 и A_2 со сдвигом по времени на τ_0. Далее этот вывод можно обобщить на произвольную совокупность отражателей, попадающих в эффективную угловую ширину диаграмм $\Delta\theta_{2a}$ приемопередающих антенн. Угол $\Delta\theta_{2a}$ обычно достаточно широк (0,5...1 рад).

Если измерить временной сдвиг τ_0 между сигналами $u_{пс1}(t)$ на выходе ПРМ 1 и $u_{пс2}(t) \approx u_{пс1}(t - \tau_0)$ на выходе ПРМ 2, то по оценке $\tau_0^*(t)$ можно оценить скорость $v_0^*(t) = d/[2\tau_0^*(t)]$. Величина $\tau_0^*(t)$ определяется в УОС — корреляторе, включающем регулируемый блок задержки τ сигнала $u_{пс1}(t)$, перемножитель, интегратор *Инт* и блок управления *БУ* задержкой, изменяющий τ до тех пор, пока не достигается максимум корреляционной функции

$$R^*(\tau) = \int_0^T u_{пс1}(t - \tau)u_{пс2}(t)dt.$$

В идеальном случае максимум будет при $\tau = \tau_0$. Реально из-за шумов, различных помех и конечного времени T интегрирования получаем $\tau \neq \tau_0^*$, т. е. оценку временного сдвига с ошибками.

Экспериментально доказано [6], что корреляционный измеритель может иметь более высокую точность, чем ДИС, и, кроме того, он хорошо совмещается с радиовысотомером. Однако применение КИС ограничено техническими сложностями, связанными с необходимостью иметь систему ориентации базы d по вектору скорости $\mathbf{v}_0$, что требует специальной следящей системы [6].

7.2.5. Радиовертикант

Это устройство определяет направление вертикали к поверхности. Чаще всего используют три-четыре узких радиолуча, как в ДИС (см. рис. 7.3), с которым радиовертикант может совмещаться. В основу работы РВТ положен разностно-даль-