

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЛОКАЦИИ И СПЕЦИАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА**

Под общей редакцией доктора технических наук  
И. Н. Ищука

Рекомендуется федеральным государственным казенным военным образовательным учреждением высшего профессионального образования ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации» в качестве учебника для курсантов учебного военного центра Военно-инженерного института Сибирского федерального университета, обучающихся по специальности 11.05.01 – «Радиоэлектронные системы и комплексы», 11.05.01 – «Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга», рег. № 446 от 02.09.2015.

Красноярск  
СФУ  
2016

УДК 621.396.967(07)  
ББК 32.95я73  
Т338

**Авторы:**

А. Н. Фомин, В. Н. Тяпкин, Д. Д. Дмитриев, С. Н. Андреев,  
И. Н. Ищук, И. Ф. Купряшкин, А. К. Гречкосеев

Т338      **Теоретические и физические основы радиолокации и специального мониторинга** : учебник / А. Н. Фомин, В. Н. Тяпкин, Д. Д. Дмитриев [и др.] ; под общ. ред. И. Н. Ищука. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 292 с.  
ISBN 978-5-7638-3389-8

Учебник состоит из двух разделов.

В первом разделе рассмотрены общие понятия, принципы и физические основы радиолокации, сигналы и помехи в радиолокации, характеристики радиолокационных целей; изложена статистическая теория обнаружения радиолокационных сигналов; представлены методы реализации радиолокационных устройств и систем, основы статистической теории разрешения радиолокационных сигналов, оценивания параметров радиолокационных сигналов.

Во втором разделе изложены принципы синтеза антенны и основные свойства синтезированной антенны; рассмотрены принципы построения радиолокаторов с синтезированной антенной и их основные модели. Особое внимание уделено характеристикам обнаружения и разрешения РСА землеобзора и алгоритмам согласованной обработки траекторного сигнала. Приведены перспективные методы обнаружения подвижных объектов методом обратного синтеза антенны и его потенциальные возможности.

Предназначен для курсантов учебного военного центра Военно-инженерного института Сибирского федерального университета, обучающихся по специальности 11.05.01 – «Радиоэлектронные системы и комплексы», 11.05.01 – «Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга».

Электронный вариант издания см.:  
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 621.396.967(07)  
ББК 32.95я73

ISBN 978-5-7638-3389-8

© Сибирский федеральный университет, 2016

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Список применяемых сокращений .....	7
Введение .....	9
<b>Раздел 1. Теоретические основы и принципы работы радиолокационных устройств .....</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. Физические основы методов обнаружения и измерения координат целей .....</b>	<b>12</b>
1.1. Структура радиолокационного канала.....	12
1.1.1. Структура систем радиолокационного наблюдения .....	12
1.1.2. Элементы радиолокационного канала .....	13
1.2. Методы обнаружения и измерения координат цели .....	15
1.2.1. Основные задачи радиолокационного наблюдения .....	15
1.2.2. Методы обнаружения и измерения .....	16
<b>Глава 2. Характеристики радиолокационных целей .....</b>	<b>22</b>
2.1. Общие закономерности рассеяния электромагнитных волн наземными объектами.....	22
2.1.1. Дифракция электромагнитных волн .....	22
2.1.2. Распределение отраженного поля по поверхности объектов....	25
2.2. Функция отражения от гладких неоднородностей .....	28
2.2.1. Случайная функция отражения шероховатых неоднородностей .....	28
2.2.2. Функция отражения гладких неоднородностей.....	31
2.3. Характеристики отражения целей в различных диапазонах волн.....	34
2.3.1. Статистические характеристики функции отражения .....	34
2.3.2. Распределение плотности вероятности ЭПР .....	38
<b>Глава 3. Обработка радиолокационных наблюдений и обнаружение целей .....</b>	<b>42</b>
3.1. Пространственно-временная модель радиолокационного наблюдения. Модель пространственно-временного сигнала .....	42
3.1.1. Случайный характер и помехи в отраженном сигнале .....	44
3.1.2. Оценка апостериорной плотности вероятности сигнала .....	46
3.2. Алгоритмы оптимальной обработки радиолокационных наблюдений.....	49
3.2.1. Оптимальная оценка параметра сигнала по максимуму апостериорной плотности вероятности .....	49
3.2.2. Оценка параметра сигнала по функции правдоподобия.....	52
3.3. Обнаружение радиолокационных целей.....	56
3.3.1. Оптимальный обнаружитель сигнала цели .....	56
3.3.2. Характеристики обнаружения сигнала .....	59

<b>Глава 4.</b> Дальность радиолокационного обнаружения целей .....	63
4.1. Максимальная дальность обнаружения .....	63
4.1.1. Зависимость энергии принимаемого сигнала от параметров РЛС, цели и условий наблюдения.....	63
4.1.2. Способы повышения мощности принимаемого сигнала .....	66
4.2. Методика расчета максимальной дальности обнаружения наземной цели.....	68
4.2.1. Определение требуемого отношения «сигнал/помеха».....	68
4.2.2. Определение дальности обнаружения .....	69
<b>Глава 5.</b> Разрешение радиолокационных целей .....	73
5.1. Теория разрешения сигналов в радиолокации .....	73
5.1.1. Разрешающая способность РЛС землеобзора.....	73
5.1.2. Различные критерии разрешения .....	74
5.2. Функция неопределенности сигнала.....	77
5.2.1. Свойства функции неопределенности .....	77
5.2.2. Влияние помех на функцию неопределенности .....	79
5.3. Разрешение целей по дальности, скорости и угловым координатам ...	81
5.3.1. Разрешающая способность сигнала по задержке .....	81
5.3.2. Разрешающая способность когерентного сигнала по частоте.....	83
5.3.3. Разрешающая способность пространственного когерентного сигнала по углу.....	84
<b>Глава 6.</b> Измерение координат и параметров движения целей.....	85
6.1. Измерение координат целей.....	85
6.1.1. Определение местоположения цели относительно РЛС .....	85
6.1.2. Оптимальная оценка параметров сигнала .....	85
6.1.3. Потенциальная точность измерения параметров сигнала .....	87
6.2. Измерение параметров движения целей .....	89
6.2.1. Параметры движения цели.....	89
6.2.2. Следящая система .....	91
<b>Раздел 2. Принципы построения систем радиовидения.....</b>	<b>97</b>
<b>Глава 7.</b> Методы радиовидения.....	98
7.1. Принцип синтеза апертуры антенны. Основные свойства синтезированной апертуры .....	98
7.2. Алгоритм обработки траекторного сигнала .....	101
<b>Глава 8.</b> Пространственная селекция целей.....	103
8.1. Общие закономерности пространственной селекции .....	103
8.1.1. Координатная пространственная селекция .....	103
8.1.2. Геометрические характеристики СА .....	109
8.2. Пространственная селекция прямолинейной синтезированной апертуры.....	110
8.2.1. Разрешающая способность прямолинейно движущейся РЛС.....	110
8.2.2. Предельные характеристики движущейся РЛС.....	112

<b>Глава 9.</b> Модель радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны.....	122
9.1. Структура модели радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны землеобзора. Траекторный сигнал .....	122
9.1.1. Траекторный сигнал в модели РСА .....	125
9.1.2. Амплитуда и фаза переходной характеристики .....	130
9.2. Классификатор целей. Детальность радиолокационного изображения при несогласованной обработке траекторного сигнала .....	132
9.2.1. Статистические характеристики траекторного сигнала .....	132
9.2.2. Точечная цель .....	134
<b>Глава 10.</b> Принципы построения радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны землеобзора.....	138
10.1. Структурная схема радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны землеобзора. Приемо-передающий тракт.....	138
10.1.1. Основные элементы РСА землеобзора .....	138
10.1.2. Обеспечение когерентности тракта РСА .....	141
10.2. Антенная система .....	150
10.2.1. Поляризационные, энергетические характеристики РСА .....	150
10.2.2. Положение и форма ДН антенны .....	154
10.3. Характеристики разрешения радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны землеобзора.....	158
10.3.1. Пространственное разрешение .....	158
10.3.2. Радиометрическое разрешение и динамический диапазон....	160
10.4. Характеристики обнаружения радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны землеобзора.....	162
10.4.1. Дальность обнаружения .....	162
10.4.2. Характеристики зоны обзора .....	172
10.4.3. Точность измерения координат целей .....	174
<b>Глава 11.</b> Обработка траекторного сигнала в радиолокаторах с синтезированной апертурой антенны.....	179
11.1. Алгоритм согласованной обработки траекторного сигнала .....	179
11.1.1. Сигнальный процессор .....	179
11.1.2. Сглаживания спекл-шумов РЛИ.....	189
11.2. Требования к системе обработки. Оптическая система обработки .....	201
11.2.1. Формирование светового сигнала .....	201
11.2.2. Фокусировка траекторного сигнала .....	205
11.3. Цифровая система обработки. Влияние искажений траекторного сигнала на характеристики радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны .....	214
11.3.1. Структура цифровой системы обработки.....	214
11.3.2. Алгоритм гармонического анализа .....	215
11.4. Компенсация траекторных нестабильностей с помощью инерциальной навигационной системы. Автофокусировка изображения в радиолокаторах с синтезированной апертурой антенны.....	228

11.4.1. Влияние изменения фазы на изображение .....	228
11.4.2. Устранение влияния случайных изменений фазы .....	235
<b>Глава 12.</b> Селекция движущихся целей в радиолокаторах с синтезированной апертурой антенны землеобзора .....	238
12.1. Алгоритмы селекции движущихся целей .....	238
12.2. Определение СДЦ по радиальной скорости объекта .....	245
<b>Глава 13.</b> Методы обратного (инверсного) синтезирования апертуры .....	251
13.1. Разрешающая способность радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны при обратном синтезировании .....	251
13.1.1. Методы обратного синтезирования апертуры .....	251
13.1.2. Характерные особенности методов обратного синтезирования апертуры .....	253
13.2. Наблюдение морских целей .....	256
13.2.1. Виды колебаний морских объектов при волнении моря .....	256
13.2.2. Характеристики колебаний кораблей различного типа .....	257
<b>Глава 14.</b> Обзор морской поверхности .....	262
14.1. Наблюдение морской поверхности .....	262
14.2. Требования к разрешающей способности и точности измерения скорости .....	264
<b>Глава 15.</b> Перспективы развития радиолокационных систем .....	270
15.1. Интерферометрический режим измерения высоты объектов .....	270
15.1.1. Доплеровская частота сигнала разрешаемого элемента цели .....	270
15.1.2. Фаза отраженного сигнала радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны при вращении цели ....	272
15.2. Многопозиционный режим радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны .....	274
15.2.1. Многопозиционные радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны .....	274
15.2.2. Полуактивные РСА .....	276
15.3. Поляризационный режим радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны .....	283
15.3.1. Основные направления развития РСА. Поляризационные характеристики объекта .....	283
15.3.2. Поляризационная матрица рассеивания в круговом базисе ..	285
<b>Заключение .....</b>	<b>288</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>290</b>