

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени В. Н. КАРАЗИНА**

Л. Ф. ЧЕРНОГОР



**ДИСТАНЦИОННОЕ
РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ
АТМОСФЕРЫ И КОСМОСА**

Издание второе, переработанное и дополненное

Харьков 2009

УДК 621.371:621.396.6(075.8)

ББК 32.844я73

Ч 75

Рекомендовано Ученым советом

Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина

(протокол № 10 от 24 октября 2008 г.)

- Ч 75 **Черногор Л. Ф. Дистанционное радиозондирование атмосферы и космоса:** Учебное пособие. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 500 с.

Изложены общие сведения по основам статистической теории радиотехнических систем, теории дистанционного радиозондирования и технических средств радиозондирования околоземной и космической сред.

Для студентов старших курсов, аспирантов и научных сотрудников радиофизического и радиотехнического профилей.

140 илл., 23 табл., 167 библ.

УДК 621.371:621.396.6(075.8)

ББК 32.844я73

- Ч 75 **Черногор Л. Ф. Дистанційне радіозондування атмосфери та космосу:** Навчальний посібник. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. – 500 с.
Викладено загальні відомості з основ статистичної теорії радіотехнічних систем, теорії дистанційного радіозондування і технічних засобів радіозондування навколоземного та космічного середовищ.

Для студентів старших курсів, аспірантів і наукових працівників радіофізичного та радіотехнічного профілів.

140 іл., 23 табл., 167 бібл.

УДК 621.371:621.396.6(075.8)

ББК 32.844я73

- Ч 75 **Chernogor L. F. Remote Radio Sensing of the Atmosphere and Space Environment:** Textbook. – Kharkiv: Kharkiv V. N. Karazin National University, 2009. – 500 pp.

General information concerning the basis of the statistical theory of radio system, the theory of the space environment remote radio system is presented.

For researchers, graduate and postgraduate students of radio physics and radio system.

140 Figures, 23 Tables, 167 References

УДК 621.371:621.396.6(075.8)

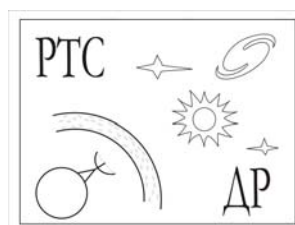
ББК 32.844я73

ISBN 966-623-434-3

© Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2009

© Л. Ф. Черногор, 2009

© Макет обложки И. Н. Дончик, Л. Ф. Черногор, 2009



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие научного редактора.....	16
Предисловие.....	18
Список основных сокращений.....	19
Введение.....	22
Литература к введению.....	23
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РТС.....	25
1. Общие сведения.....	25
1.1. Понятие о дистанционном радиозондировании.....	25
1.2. Общая модель РТС.....	26
1.3. Математическая модель РТС.....	28
1.4. Задачи статистической теории РТС.....	29
1.5. Особенности РТС зондирования околоземной и космической среды.....	29
1.6. Понятие о параметрах, характеристиках и качественных показателях РТС.....	32
1.7. Классификация РТС извлечения информации.....	33
1.7.1. Классификация по характеру сообщений.....	33
1.7.2. Классификация по диапазону радиоволн.....	34
1.7.3. Классификация по информационному параметру радиосигнала.....	35
1.8. Основные результаты.....	36
1.9. Вопросы.....	36
2. Сигналы и помехи в каналах радиозондирования.....	37
2.1. Основные этапы развития представлений о сигналах и помехах.....	37
2.2. Помехи в каналах радиозондирования.....	38
2.2.1. Классификация помех по источникам.....	38
2.2.2. Классификация помех по характеру взаимодействия с сигналом.....	39
2.2.3. Классификация помех по статистической структуре.....	41
2.2.4. Функционал плотности вероятности белого шума.....	46
2.3. Сигнал как случайный процесс (случайное поле).....	48
2.3.1. Общие сведения.....	48
2.3.2. Понятие о модели сигнала.....	50
2.4. Информационные характеристики сигнала, помехи и канала.....	50
2.5. Отношение сигнал/помеха (сигнал/шум).....	52
2.6. Основные результаты.....	53
2.7. Вопросы.....	54
2.8. Задачи.....	54
3. Основы теории обнаружения, различения и разрешения сигналов на фоне помех.....	55
3.1. Обнаружение сигнала как статистическая задача.....	55

3.2. Качественные показатели и критерии обнаружения сигнала.....	56
3.3. Обнаружение полностью известного сигнала.....	59
3.3.1. Порог и алгоритм обнаружения.....	59
3.3.2. Кривые обнаружения.....	63
3.4. Понятие об обнаружении не полностью известного сигнала.....	65
3.5. Понятие о различении сигналов.....	67
3.6. Понятие о разрешении сигналов.....	67
3.6.1. Разрешение сигналов как статистическая задача.....	68
3.6.2. Разрешение сигналов по времени и частоте.....	70
3.7. Основные результаты.....	75
3.8. Вопросы.....	76
3.9. Задачи.....	77
4. Методы измерения (оценки) параметров случайных процессов	
и сигналов.....	78
4.1. Оценка параметров как статистическая задача.....	78
4.2. Оценка вероятностей и законов распределения.....	80
4.3. Оценка средних значений.....	82
4.4. Оценка ковариационных и корреляционных функций (смешанных моментов)	
.....	84
4.5. Оценка спектров.....	84
4.5.1. Аналоговые методы спектрального анализа	
детерминированных процессов.....	84
4.5.2. Аналоговый метод спектрального анализа случайных	
процессов.....	87
4.5.3. Цифровые методы спектрального анализа.....	89
4.5.4. Понятие о нетрадиционных методах спектрального анализа.....	92
4.6. Оценка поляризационных характеристик.....	93
4.7. Погрешность оценок. Необходимый размер выборки.....	95
4.8. Оценка параметров радиосигнала.....	95
4.8.1. Элементы общей теории оценок параметров сигнала.....	95
4.8.2. Оценка амплитуды детерминированного радиоимпульса.....	97
4.8.3. Оценка начальной фазы радиоимпульса.....	98
4.8.4. Оценка времени задержки импульса.....	100
4.8.5. Оценка частоты радиоимпульса.....	100
4.9. Основные результаты.....	101
4.10. Вопросы.....	102
4.11. Задачи.....	103
5. Предельная (потенциальная) точность оценки параметров	
радиосигнала.....	104
5.1. Элементы общей теории оценок параметров сигнала.....	104
5.2. Точность оценки частоты.....	107
5.3. Точность оценки начальной фазы.....	109
5.4. Точность оценки времени задержки.....	110
5.4.1. Видеосигнал.....	110
5.4.2. Радиосигнал.....	113
5.4.3. Радиосигнал с линейной частотной модуляцией.....	114
5.5. Точность оценки амплитуды и мощности импульса.....	116
5.6. Точность оценки угловых координат.....	117
5.6.1. Дискретная антенная решетка.....	118
5.6.2. Антенна со сплошной апертурой.....	120
5.7. Основные результаты.....	120
5.8. Вопросы.....	121

5.9. Задачи.....	122
6. Влияние среды на точность радиотехнических измерений.....	124
6.1. Общие сведения.....	124
6.1.1. Модели среды.....	124
6.1.2. Регулярные эффекты.....	127
6.1.3. Нерегулярные эффекты.....	129
6.2. Флуктуация фазового пути.....	129
6.3. Флуктуации фазы.....	132
6.4. Флуктуации частоты.....	132
6.5. Флуктуации времени задержки.....	134
6.6. Флуктуации амплитуды.....	136
6.7. Флуктуации углов прихода.....	140
6.7.1. Дисперсия флуктуаций углов прихода.....	140
6.7.2. Влияние флуктуаций на направленные свойства передающей антенны.....	141
6.7.3. Влияние флуктуаций на направленные свойства приемной антенны.....	146
6.7.4. Влияние флуктуации на направленные свойства радиоинтерферометра.....	147
6.8. Основные результаты.....	151
6.9. Вопросы.....	152
6.10. Задачи.....	152
7. Статистическая обработка сигналов в РТС при приеме.....	154
7.1 Общие принципы ослабления радиопомех.....	155
7.1.1. Пространственная селекция.....	155
7.1.2. Поляризационная селекция.....	155
7.1.3. Частотная селекция.....	155
7.1.4. Временная селекция.....	157
7.1.5. Амплитудная селекция.....	157
7.1.6. Компенсационный метод.....	163
7.1.7. Понятие о разнесенном приеме.....	164
7.1.8. Понятие об адаптации к помеховой обстановке.....	164
7.2. Когерентный и некогерентный прием. Синхронное детектирование.....	165
7.3. Статистическая обработка сигнала в амплитудном детекторе.....	168
7.4. Корреляционный прием.....	171
7.4.1. Общие сведения.....	172
7.4.2. Корреляционный прием видеосигнала.....	173
7.4.3. Корреляционный прием радиосигнала.....	176
7.5. Автокорреляционный прием.....	181
7.5.1. Аддитивная помеха.....	182
7.5.2. Мультипликативная помеха.....	182
7.6. Метод интегрирования сигнала.....	183
7.7. Метод накопления.....	186
7.7.1. Метод простого накопления.....	186
7.7.2. Метод синхронного накопления.....	187
7.7.3. Метод накопления с компенсацией помехи.....	189
7.8. Согласованная фильтрация.....	191
7.8.1. Временной подход.....	191
7.8.2. Спектральный подход.....	193
7.8.3. Оптимальная фильтрация на фоне коррелированных помех.....	198
7.8.4. Квазиоптимальная фильтрация.....	201
7.9. Обобщенный анализ методов приема.....	204

7.10. Статистическая обработка при мультипликативной помехе.....	207
7.10.1. Отношение сигнал/помеха на входе.....	207
7.10.2. Метод синхронного накопления.....	208
7.10.3. Метод интегрирования.....	209
7.10.4. Обобщенный анализ.....	209
7.11. Линейная фильтрация стационарных случайных сигналов (фильтр Колмогорова–Винера).....	211
7.11.1. Упрощенная теория фильтрации.....	212
7.11.2. Оценка выигрыша в отношении сигнал/помеха.....	218
7.11.3. Теория режекторного фильтра.....	219
7.12. Понятие об адаптивном приеме и адаптивной фильтрации.....	220
7.13. Основные результаты.....	221
7.14. Вопросы.....	222
7.15. Задачи.....	223
8. Помехоустойчивые зондирующие сигналы.....	226
8.1. Общая характеристика зондирующих сигналов.....	226
8.2. Сложные сигналы. ЛЧМ-сигналы.....	226
8.3. Цифровые (дискретные) сигналы.....	231
8.3.1. Понятие о коде Баркера.....	232
8.3.2. Понятие о M-последовательностях.....	234
8.4. Сверхширокополосные сигналы.....	235
8.4.1. Общие сведения.....	235
8.4.2. Особенности сверхширокополосных радиосигналов.....	236
8.4.3. Применение сверхширокополосных сигналов.....	239
8.5. Понятие о дискретно-частотных сигналах.....	239
8.6. Основные результаты.....	240
8.7. Вопросы.....	241
8.8. Задачи.....	242
Литература к части первой.....	242
ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ	
ДИСТАНЦИОННОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ	
И КОСМОСА.....	246
9. Физические основы взаимодействия радиоволн с целями.....	246
9.1. Основные этапы развития дистанционного радиозондирования.....	246
9.2. Классификация целей.....	249
9.3. Классификация механизмов вторичного излучения.....	249
9.4. Разрешаемый элемент пространства.....	250
9.4.1. Разрешающая способность РТС по дальности и угловым координатам.....	250
9.4.2. Разрешающая площадь и разрешаемый объем.....	251
9.5. Эффективная площадь рассеяния модельных целей.....	253
9.5.1. Общие сведения.....	253
9.5.2. ЭПР группы рассеивателей.....	255
9.5.3. ЭПР точечной цели.....	257
9.5.4. ЭПР проводящего шара.....	257
9.5.5. ЭПР плоской отражающей поверхности.....	260
9.6. ЭПР диффузно-рассеивающей цели.....	261
9.7. Основные результаты.....	263
9.8. Вопросы.....	263
9.9. Задачи.....	264
10. Основное уравнение дистанционного радиозондирования.....	265
10.1. Уравнение радиопросвечивания.....	265

10.2. Уравнение дистанционного радиозондирования.....	266
10.3. Основные результаты.....	268
10.4. Вопросы.....	268
10.5. Задачи.....	269
11. Методы измерения параметров целей.....	271
11.1. Методы измерения дальности.....	271
11.1.1. Импульсный метод.....	271
11.1.2. Частотный метод.....	273
11.1.3. Фазовый метод.....	275
11.2. Методы измерения скорости.....	277
11.2.1. Импульсный метод.....	278
11.2.2. Частотный метод.....	278
11.2.3. Принцип неопределенности в дистанционном радиозондировании.....	279
11.3. Методы измерения угловых координат.....	280
11.3.1. Фазовые методы.....	280
11.3.2. Амплитудные методы.....	282
11.3.3. Амплитудные методы в случае направленных антенн.....	284
11.4. Основные результаты.....	285
11.5. Вопросы.....	285
11.6. Задачи.....	285
12. Методы дистанционного радиозондирования.....	288
12.1. Пассивное радиозондирование.....	288
12.1.1. Общие сведения.....	288
12.1.2. Основное уравнение радиотеплозондирования.....	289
12.1.3. Методы определения угловых координат.....	291
12.1.4. Применение пассивного радиозондирования.....	292
12.1.5. Достоинства и недостатки радиотеплозондирования.....	292
12.2. Радиоинтерферометрия.....	292
12.2.1. Общие сведения.....	292
12.2.2. Суммирующий интерферометр.....	293
12.2.3. Умножающий интерферометр.....	296
12.2.4. Радиоастрономические интерферометры.....	296
12.2.5. Радиоинтерферометр с синтезируемой апертурой.....	298
12.2.6. Понятие о радиоинтерферометрии ионосферы.....	299
12.2.7. Понятие о спекл-интерферометрии.....	300
12.2.8. Применение радиоинтерферометрии.....	301
12.3. Понятие о методах когерентной оптики и радиоголографии.....	302
12.4. Понятие о методах радиотомографии.....	304
12.5. Понятие о многопозиционном радиозондировании.....	304
12.6. Понятие о пространственно-временных методах радиозондирования.....	306
12.7. Понятие об адаптивном радиозондировании.....	306
12.8. Основные результаты.....	307
12.9. Вопросы.....	308
12.10. Задачи.....	309
13. Методы радиозондирования атмосферы и космоса.....	310
13.1. Основные этапы развития радиозондирования.....	310
13.2. Использование диапазонов радиоволн в дистанционном зондировании.....	311
13.3. Общая характеристика методов.....	313
13.4. Радиоакустическое зондирование нижних слоев атмосферы.....	314

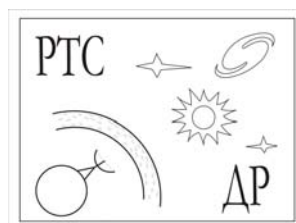
13.4.1. Общие сведения.....	314
13.4.2. ЭПР цели.....	315
13.4.3. Основное уравнение в методе радиоакустического зондирования.....	317
13.4.4. Возможности метода.....	318
13.4.5. Достоинства и недостатки метода.....	319
13.5. Радиозондирование тропосферы, стратосферы и мезосферы.....	319
13.5.1. Общие сведения.....	319
13.5.2. ЭПР цели.....	320
13.5.3. Основное уравнение в мезосферно-стратосферно-тропосферной радиолокации.....	322
13.5.4. Возможности метода.....	324
13.5.5. Достоинства и недостатки метода.....	324
13.6. Радиозондирование нижней ионосферы при помощи частично-отраженных сигналов.....	324
13.6.1. Общие сведения.....	324
13.6.2. ЭПР цели.....	325
13.6.3. Основное уравнение в методе частичных отражений.....	327
13.6.4. Возможности метода.....	328
13.6.5. Достоинства и недостатки метода.....	329
13.7. Вертикальное зондирование средней ионосферы.....	329
13.7.1. Общие сведения.....	329
13.7.2. ЭПР цели.....	330
13.7.3. Основное уравнение в методе вертикального зондирования.....	331
13.7.4. Возможности метода.....	332
13.7.5. Понятие о доплеровском зондировании.....	333
13.7.6. Понятие о современных ионозондах.....	334
13.7.7. Достоинства и недостатки метода.....	334
13.8. Загоризонтное радиозондирование.....	336
13.8.1. Общие сведения.....	336
13.8.2. ЭПР цели.....	337
13.8.3. Основное уравнение загоризонтного зондирования.....	338
13.8.4. Возможности метода.....	339
13.8.5. Достоинства и недостатки метода.....	340
13.9. Радиозондирование ионосферы при помощи некогерентно-рассеянных сигналов.....	340
13.9.1. Общие сведения.....	340
13.9.2. ЭПР цели.....	341
13.9.3. Основное уравнение в методе некогерентного рассеяния.....	342
13.9.4. Возможности метода.....	344
13.9.5. Достоинства и недостатки метода.....	345
13.10. Радиозондирование магнитосферы.....	345
13.11. Радиозондирование планет (радиолокационная астрономия).....	346
13.11.1. Общие сведения.....	346
13.11.2. ЭПР цели.....	347
13.11.3. Основное уравнение в радиолокационной астрономии.....	347
13.11.4. Возможности радиолокационной астрономии.....	347
13.11.5. Достоинства и недостатки метода.....	348
13.12. Современные достижения в дистанционном радиозондировании околоземной и космической сред.....	348
13.13. Перспективы развития дистанционного радиозондирования околоземной и космической сред.....	350

13.14. Основные результаты.....	350
13.15. Вопросы.....	351
13.16. Задачи.....	352
Литература к части второй.....	353
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ И КОСМОСА.....	357
14. Общая характеристика радиотехнических средств.....	357
14.1. Иерархия радиосредств.....	358
14.2. Точность радиосредств.....	358
14.3. Помехозащищенность.....	361
14.4. Пропускная способность.....	362
14.5. Разрешающая способность.....	363
14.6. Дальность действия.....	363
14.7. Надежность радиосредств.....	364
14.8. Масса и габариты.....	366
14.9. Стоимость радиосредств.....	367
14.10. Электромагнитная и экологическая совместимости.....	369
14.11. Диапазон параметров.....	369
14.12. Основные результаты.....	370
14.13. Вопросы.....	371
14.14. Задачи.....	372
15. Антенные устройства и системы.....	373
15.1. Основные этапы развития антенной науки и техники.....	373
15.2. Основные параметры и качественные показатели антенн.....	374
15.3 Принципы классификации антенн.....	379
15.3.1. Классификация антенн по их механической подвижности.....	379
15.3.2. Классификация антенн по характеру заполнения апертуры....	379
15.3.3. Классификация антенн по методам фазирования поля.....	380
15.4. Основные способы обработки сигналов в антеннах.....	382
15.5. Фазированные антенные решетки (ФАР).....	383
15.6. Адаптивные антенные решетки (ААР).....	384
15.7. Радиооптические антенные решетки (РАР).....	384
15.8. Активные антенны (АА).....	385
15.9. Динамические антенны.....	385
15.10. Нелинейные антенны.....	387
15.11. Антенны с синтезируемой апертурой.....	388
15.11.1. Общие сведения.....	388
15.11.2. Фокусированные антенны.....	389
15.11.3. Нефокусированные антенны.....	390
15.12. Фрактальные антенны.....	392
15.13. Антенны различных диапазонов. Примеры уникальных систем...	392
15.13.1. Антенны метраметрового диапазона.....	392
15.13.2. Антенны километрового и гектометрового диапазонов.....	393
15.13.3. Антенны декаметрового диапазона.....	394
15.13.4. Антенны метрового, дециметрового, сантиметрового	400
и миллиметрового диапазонов.....	
15.14. Антенны космических аппаратов.....	401
15.15. Статистические эффекты в антенной науке и технике.....	401
15.15.1. Общие сведения.....	401
15.15.2. Влияние флуктуаций фазы сигнала на параметры	404
зеркальной антенны.....	
15.15.3. Влияние флуктуаций фазы сигнала на параметры линейной	405

решетки.....	
15.15.4. Оценка роли тепловых нагрузок.....	406
15.15.5. Оценка роли гравитационных нагрузок.....	408
15.15.6. Оценка роли ветровых нагрузок.....	409
15.16. Современные достижения и перспективы развития антенной техники.....	410
15.17. Основные результаты.....	411
15.18. Вопросы.....	412
15.19. Задачи.....	413
16. Радиоприемные устройства и системы.....	417
16.1. Основные этапы развития.....	417
16.2. Основные характеристики и качественные показатели радиоприемных устройств.....	418
16.3. Классификация радиоприемных устройств по способам усиления сигнала. Структурные схемы.....	420
16.3.1. Супергетеродинный приемник.....	420
16.3.2. Приемник прямого усиления.....	421
16.3.3. Видеоприемник.....	422
16.4. Классификация радиоприемных устройств по способам обработки сигнала. Структурные схемы.....	422
16.4.1. Компенсационный приемник.....	422
16.4.2. Модуляционный приемник.....	423
16.4.3. Двухтактный модуляционный приемник.....	424
16.4.4. Радиоинтерферометрический приемник.....	425
16.4.5. Корреляционный приемник.....	425
16.5. Оптимальные радиоприемники-обнаружители.....	426
16.5.1. Оптимальный приемник для обнаружения известного радиоимпульса.....	427
16.5.2. Оптимальный приемник для обнаружения известного радиоимпульса со случайной фазой.....	427
16.5.3. Оптимальный приемник для обнаружения известного радиоимпульса со случайной начальной фазой (корреляционно-фильтровой приемник).....	429
16.5.4. Оптимальный приемник для обнаружения известного радиоимпульса со случайной фазой (квадратурный приемник).....	429
16.5.5. Оптимальный приемник для обнаружения радиоимпульса с неизвестными частотой и начальной фазой.....	430
16.6. Оптимальные приемники-измерители параметров радиосигналов. 16.6.1. Измерение амплитуды радиоимпульса со случайной начальной фазой.....	431
16.6.2. Измерение фазы радиоимпульса.....	432
16.6.3. Измерение времени запаздывания радиоимпульса.....	432
16.6.4. Измерение частоты радиоимпульса.....	433
16.7. Малошумящие усилители радиочастоты.....	434
16.8. Современные достижения и перспективы развития радиоприемных устройств.....	436
16.9. Основные результаты.....	436
16.10. Вопросы.....	437
16.11. Задачи.....	438
17. Радиопередающие устройства и системы.....	439
17.1. Основные этапы развития.....	439
17.2. Основные параметры и качественные показатели	

радиопередающих устройств.....	441
17.3. Классификация радиопередающих устройств.....	442
17.4. Мощные генераторы и усилители мощности.....	442
17.4.1. Параметры генераторов и усилителей мощности.....	442
17.4.2. Фундаментальная мощность генерации.....	443
17.4.3. Тенденции увеличения мощности и предельные значения.....	446
17.5. Структурные схемы радиопередающих устройств.....	450
17.5.1. Связной передатчик.....	450
17.5.2. Телевизионный передатчик.....	451
17.5.3. Передатчик радиолокационных станций.....	452
17.6. Современные достижения и перспективы развития	
радиопередающих устройств.....	453
17.7. Основные результаты.....	454
17.8. Вопросы.....	455
17.9. Задачи.....	456
18. Регистрирующие, обрабатывающие и запоминающие устройства..	457
18.1. Устройства и системы регистрации аналоговых и цифровых	
сигналов.....	457
18.2. Системы обработки информации.....	459
18.2.1. Основные этапы развития компьютеров (ЭВМ).....	459
18.2.2. Процессоры. Примеры уникальных компьютеров.....	460
18.3. Системы хранения информации.....	460
18.3.1. Оперативная память компьютера.....	461
18.3.2. Флоппи-дискетод и дискеты.....	461
18.3.3. Жесткие диски.....	461
18.3.4. Лазерные диски.....	463
18.3.5. Флэш-память.....	464
18.4. Основные результаты.....	465
18.5. Вопросы.....	465
19. Современные достижения и перспективы развития средств	
радиозондирования, обработки и хранения информации.....	466
19.1. Современные достижения и перспективы развития	
радиотехнических комплексов и систем.....	466
19.2. Современные достижения и перспективы развития	
обработки и хранения информации.....	467
19.3. Перспективные типы памяти.....	468
19.3.1. Голографическая память.....	468
19.3.2. Молекулярная память.....	468
19.4. Перспективные компьютеры.....	470
19.4.1. Молекулярные компьютеры.....	470
19.4.2. Нейрокомпьютеры.....	471
19.4.3. Квантовые компьютеры.....	474
19.5. Основные результаты.....	476
19.6. Вопросы.....	477
20. Фундаментальные пределы и ограничения в науке и технике	
радиозондирования атмосферы и космоса.....	478
20.1. Общие сведения.....	476
20.2. Фундаментальные пределы и ограничения при формировании	
сообщения.....	479
20.3. Фундаментальные пределы и ограничения для канала	
распространения.....	479
20.4. Фундаментальные пределы и ограничения в антенной науке	

и технике.....	480
20.5. Фундаментальные пределы и ограничения при приеме сигналов и оценке их параметров.....	482
20.6. Фундаментальные пределы и ограничения при обработке информации.....	482
20.7. «Фантастический» (предельный) компьютер.....	483
20.8. Основные результаты.....	490
20.9. Вопросы.....	491
20.10. Задачи.....	492
Литература к части третьей.....	493
Заключение.....	496



Предисловие научного редактора

Книга написана на основе лекций, читаемых по инициативе Л. Ф. Черногора с 1970-х гг. на радиофизическом факультете Харьковского государственного университета (теперь ХНУ имени В. Н. Каразина) для студентов 5-го курса. Курс "Дистанционное радиозондирование атмосферы и космоса" на сегодняшний день читается только в упомянутом университете. Хочется думать, что наступит время, когда этот курс станет привычным (таким же, как теоретические основы радиотехники, статистическая радиотехника, статистическая радиофизика) для студентов-радиофизиков (студентов-радиотехников) и других университетов.

Учебное пособие охватывает такие основные разделы: основы статистической теории радиотехнических систем, физические основы теории и технические средства дистанционного радиозондирования.

При написании пособия перед автором стояла сложная задача оптимального выбора излагаемого материала из столь широкого круга вопросов. Можно утверждать, что автору это удалось. Наиболее важные вопросы описаны детально. Лаконичность изложения отдельных аспектов предполагает их более детальное изучение читателями самостоятельно. Этому будет способствовать достаточно обширный список литературы, приводимый в конце каждой части книги.

Структура учебного пособия и каждого его раздела представляется удачной. Раздел обычно начинается с краткого экскурса в историю, затем излагаются классические представления и современное состояние вопросов. Разделы, как и вся книга, заканчиваются основными результатами, вопросами и задачами. Такая структура оказывается очень удобной для студентов. Значительная часть вопросов для самоконтроля и задач являются оригинальными. Важно, что задачи имеют ярко выраженную практическую направленность.

Главной заслугой книги, есть то, что она является своеобразной энциклопедией. Она полезна не только для студентов радиофакультетов, но и научных сотрудников и инженеров соответствующих специальностей.

Кратко об авторе. Леонид Феоктистович Черногор – признанный в Украине и в мире ученый-радиофизик, автор важных фундаментальных и прикладных, теоретических и экспериментальных работ по космической радиофизике, нелинейной радиофизике, дистанционному радиозондированию атмосферы и геокосмоса, анализу и обработке радиосигналов разных типов.

Одним из главных достижений Л. Ф. Черногора являются результаты его пионерских работ (выполненных в течение почти сорока лет) по исследованию радиофизических и геомагнитных эффектов в околоземной среде, сопровождающих старты и полеты космических аппаратов. К этому естественным образом присовокупляются его работы, посвященные изучению влияния геофизических и антропогенных процессов на окружающую среду, на атмосферную и космическую погоду. Им впервые показано, что влияние этих процессов может быть сопоставимо с влиянием главного источника энергии на Земле – Солнца. Это позволило ему сформулировать основные положения комплексной концепции экологии атмосферы и геокосмоса.

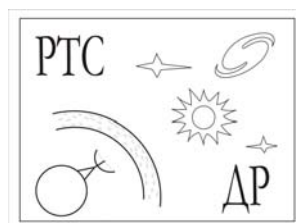
Научная деятельность Л. Ф. Черногора всегда отличалась оптимальным сочетанием теоретических и экспериментальных исследований, проводимых им на наивысшем уровне. Плодотворная и активная деятельность Л. Ф. Черногора подтверждается большим количеством подготовленных им публикаций – более 600 научных трудов, 14 учебных пособий, 3 монографии.

Особенно следует отметить активную и эффективную педагогическую деятельность Л. Ф. Черногора. За несколько десятков лет работы в ХНУ имени В. Н. Каразина профессором радиофизического факультета им был разработан и прочитан большой объем лекций, внедрено более десяти новых учебных курсов, подготовлено большое количество дипломников, кандидатов наук и двух докторов наук, организовано научно-педагогическое сотрудничество со многими организациями Украины и других стран.

Научные достижения, научно-организационная и научно-педагогическая деятельность Л. Ф. Черногора высоко оценены. Он имеет много высших государственных и правительственных наград и званий.

Рецензируемое учебное пособие, написанное на высоком научном и методическом уровне, без сомнения, будет способствовать подготовке новых поколений квалифицированных специалистов в области дистанционного радиозондирования, физики атмосферы и геокосмоса, радиоастрономии, космической радиофизики и др.

Академик НАН Украины А. А. Коноваленко



Предисловие

Настоящее учебное пособие, которое следует рассматривать как введение в теорию и технику дистанционного радиозондирования атмосферы и космоса, подготовлено на основе текста лекций, читаемых студентам пятого курса кафедры космической радиофизики радиофизического факультета Харьковского государственного университета (теперь ХНУ имени В. Н. Каразина) с 1975 г. Общий объем курса – 160 часов.

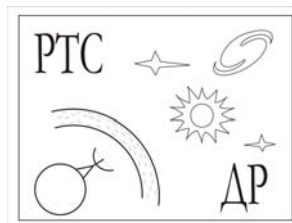
Курс «Дистанционное радиозондирование атмосферы и космоса» завершает образование специалистов и магистров, обучающихся на кафедре. При чтении лекций автор пособия опирается на знание студентами общих радиотехнических и радиофизических курсов, а также специальных курсов, посвященных физике атмосферы, физике геокосмоса и дальнего космоса, распространению радиоволн в атмосфере и космосе, методам диагностики атмосферной и космической среды.

Для контроля уровня усвоения знаний учебное пособие снабжено вопросами и задачами.

Выражаю свою глубокую благодарность научному редактору академику НАН Украины А. А. Коноваленко и рецензентам профессору, доктору физико-математических наук Н. Н. Горобцу и профессору, доктору технических наук В. Б. Разказовскому за сделанные замечания, учет которых способствовал улучшению качества рукописи.

Автор признателен О. В. Лазоренко, С. В. Панасенко и Т. А. Чепиль за помощь, оказанную в процессе подготовки учебного пособия.

Первое издание учебного пособия, имевшее название «Радиотехнические системы зондирования околоземного и космического пространств», вышло в издательстве Харьковского государственного университета в 1984 г. Второе издание пособия полностью переработано и существенно расширено.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном учебном пособии рассмотрены основные положения и современные достижения в теории оптимальной обработки информации, измерении характеристик радиосигналов, а также принципы построения и функционирования РТС, предназначенных для ДР атмосферы и космоса.

Исследования атмосферы и космоса в дальнейшем будут вестись в следующих направлениях.

1. Будут продолжаться традиционные измерения параметров среды в широком диапазоне высот (дальностей). Они станут практически непрерывными и глобальными (по аналогии с метеонаблюдениями). Будет значительно улучшен мониторинг процессов в атмосфере, геокосмосе, ближнем и дальнем космосе, а также атмосферной и космической погоды. Будет значительно увеличена достоверность прогнозирования процессов в среде, начиная от приземной атмосферы и заканчивая дальним космосом, а значит атмосферной и космической погоды.

2. Будут развиваться новые методы исследования атмосферы и космоса. Особое место займут целенаправленные, так называемые активные эксперименты.

3. Исследования станут комплексными, т. е. измерения будут проводиться по согласованной программе рядом независимых взаимодополняющих методов.

В связи с этим при разработке и эксплуатации РТС ДР будут решаться следующие проблемы.

1. Согласование измерений и обработки поступающей информации о состоянии ОКС. Выдача прогнозов ожидаемых процессов.

2. Решение вопросов электромагнитной совместимости РТС ДР при комплексных исследованиях.

3. Повышение уровня автоматизации измерений, обработки и хранения информации. Создание Единого глобального информационного центра.

4. Улучшение характеристик РТС ДР, способствующих повышению точности и достоверности измерений, пространственно-временного разрешения, возможности работы в реальном масштабе времени.

5. Совершенствование статистических методов измерения, обработки и использования информации о состоянии атмосферной и космической погоды.

1804

Харьковский национальный
университет
имени В. Н. Каразина

2009



В. Н. Каразин
(1773 – 1842 гг.) –
«украинский Ломоносов».
Основал в г. Харькове
учрежденный в 1803 г.
университет – первый
классический (модерный)
университет на украинских
землях. Известный
украинский натуралист. Его
научные труды,
посвященные
метеорологии,
атмосферному
электричеству, астрономии,
химии, агрономии и другим
разделам естествознания,
значительно опередили свое
время. Впервые указал на
возможность и способ
управления погодой.

1804

**Харьковский национальный
университет
имени В. Н. Каразина**

2009



Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина — один из старейших университетов Восточной Европы. Учрежден в 1803 г., основан в 1804 г., открыт 17 (29) января 1805 г.

С историей Харьковского университета связаны имена трех лауреатов Нобелевской премии: С. Кузнеця, Л. Ландау, И. Мечникова, а также таких всемирно известных ученых, как астроном Н. Барабашов, историк Д. Багалея, математики А. Ляпунов и А. Погорелов, лингвист А. Потебня, радиофизики и радиоастрономы С. Брауде, А. Коноваленко, Л. Литвиненко, Д. Рожанский, А. Слуцкий, В. Шестопалов, В. Шульга, В. Яковенко, физики А. Ахиезер, А. Вальтер, Б. Веркин, А. Галкин, И. Залюбовский, В. Иванов, В. Семиноженко, К. Синельников, физико-химик Н. Бекетов и др.

Сегодня в университете 18 факультетов, где обучается более 12 тыс. студентов по 55 специальностям и 78 специализациям, работает свыше 2 тыс. преподавателей и научных сотрудников, из которых более 250 докторов наук, около 800 кандидатов наук, 20 академиков, 52 лауреата Государственных премий.

Один из крупнейших центров Украины, Харьковский университет с 1974 г. является членом Международной Ассоциации Университетов под эгидой ЮНЕСКО.

Радиофизический факультет – один из ведущих факультетов университета. В январе 2008 г. ему исполнилось 56 лет. Среди преподавателей факультета 7 академиков, 1 член-корреспондент НАН Украины и 17 докторов наук и профессоров.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Чорногор Леонід Феоктистович

Дистанційне радіозондування атмосфери та космосу

Коректор О. В. Гавриленко

Комп'ютерна верстка О. В. Лазоренка, С. В. Панасенка

Підписано до друку __. __. 2009 р. Формат 60x84 1/16

Папір офсетний. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 32,70 + 5,00 вкл. Обл.-вид. арк. 33,75 + 1,30

Наклад 300 пр.

61077, Харків, майд. Свободи, 4

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна

Надруковано ФОП «Петрова І. В.»

61114, Харків – 144, вул. Гв. Широнінців 79а, к. 137

Свідоцтво про державну реєстрацію ВОО № 948011 від 03.01.03

Тел. 362-01-52

Литература к введению

1. Алмазов В. Б. Основы теории радиолокации. – Х.: ВИРТА им. Л. А. Говорова, 1992. – 240 с.
2. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
3. Бакулев П. А., Сосновский А. Л. Радионавигационные системы. – М.: Радиотехника, 2005. – 224 с.
4. Вопросы перспективной радиолокации / Под ред. А. В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с.
5. Вопросы подповерхностной радиолокации / Под ред. А. Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
6. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. и др. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
7. Гуткин Л. С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
8. Долгов В. И., Пашинцев В. П. Основы общей теории связи. – МО РФ, 2000. – 480 с.
9. Дымова А. И., Альбац М. Е., Бонч-Бруевич А. М. Радиотехнические системы. – М.: Сов. радио, 1975. – 439 с.
10. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного радиозондирования Земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
11. Коростылев А. А. Пространственно-временная теория радиосистем. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
12. Лезин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
13. Маслов О. Н., Пашинцев В. П. Модели трансионосферных радиоканалов и помехоустойчивость систем космической связи. – Самара: ПГАТИ, 2006. – 357 с.
14. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высшая школа, 2002. – 510 с.
15. Перов А. И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
16. Пестряков В. Б., Кузенков В. Д. Радиотехнические системы. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
17. Петров А. В., Яковлев А. А. Анализ и синтез радиотехнических комплексов. – М.: Радио и связь, 1984. – 246 с.

Литература к части первой

1. Алебастров В. А., Гойхман Э. Ш., Заморин И. М. и др. Основы загоризонтной радиолокации. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
 2. Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. – М.: Наука, 1972. – 564 с.
 3. Амиантов И. Н. Избранные вопросы статистической теории связи. – М.: Сов. радио, 1971. – 416 с.
 4. Апушкинский Г. П. Методы радиоастрономии. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. – 136 с.
 5. Астанин Л. Ю., Костылев А. А. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
 6. Афраймович Э. Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
 7. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
- 243
8. Бакулев П. А., Сосновский А. Л. Радионавигационные системы. – М.: Радиотехника, 2005. – 224 с.
 9. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 1988. – 448 с.
 10. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989.

– 540 с.

11. Варакин Л. Е. Теория сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1970. – 376 с.
 12. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
 13. Вопросы перспективной радиолокации / Под ред. А. В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с.
 14. Вопросы подповерхностной радиолокации / Под ред. А. Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
 15. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов / Под ред. А. М. Трахтмана. – М.: Сов. радио, 1973. – 368 с.
 16. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. и др. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
 17. Гуткин Л. С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах. – М.: Сов. радио, 1972. – 441 с.
 18. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973. – 504 с.
 19. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
 20. Защита от радиопомех / Под ред. М. В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 495 с.
 21. Зюко А. Г., Коробов Ю. Ф. Теория передачи сигналов. – М.: Связь, 1972. – 280 с.
 22. Каллистратова М. А., Кон А. И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. – М.: Наука, 1985. – 200 с.
 23. Колосов М. Я., Арманд Н. А., Яковлев О. И. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Связь, 1969. – 156 с.
 24. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
 25. Кравцов Ю. А., Фейзулин З. И., Виноградов А. Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
 26. Краус Дж. Д. Радиоастрономия. – М.: Сов. радио, 1973. – 456 с.
 27. Купер Дж., Макгиллем К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
 28. Лезин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
 29. Лихарев В. А. Цифровые методы и устройства радиолокации. – М.: Сов. радио, 1973. – 456 с.
 30. Марпл-мл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
 31. Минаков А. А., Тырнов О. Ф. Статистическая радиофизика. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2003. – 540 с.
- 244
32. Нефедов Е. И. Радиоэлектроника наших дней. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
 33. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
 34. Перов А. И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
 35. Пестряков В. Б., Кузенков В. Д. Радиотехнические системы. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
 36. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г. И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
 37. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применения цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 622 с.
 38. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / Под ред.

- Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2006. – 512 с.
39. Рудой В. М. Системы передачи информации. – М.: Радиотехника, 2007. – 280 с.
40. Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Татарский В. И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. Случайные поля. – М.: Наука, 1978. – 464 с.
41. Солодовников Г. К., Синельников В. М., Крохмальников Е. Б. Дистанционное зондирование ионосферы Земли с использованием радиомаяков космических аппаратов. – М.: Наука, 1972. – 563 с.
42. Стратонович Р. Л. Принципы адаптивного приема. – М.: Сов. радио_____, 1973. – 144 с.
43. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. – М.: Наука, 1967. – 548 с.
44. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 540 с.
45. Тузов Г. И. Статистическая теория приема сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1977. – 400 с.
46. Харкевич А. А. Избранные труды. Т.3. – М.: Наука, 1973. – 524 с.
47. Хармут Х. Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
48. Чернов Ю. А. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы. – М.: Связь, 1971. – 204 с.
49. Черногор Л. Ф. Радиотехнические системы зондирования околоземного и космического пространств. – Х.: ХГУ, 1982. – 298 с.
50. Черногор Л. Ф. Физика космоса и астрофизика. – Х.: ХГУ, 1990. – 136 с.
51. Черногор Л. Ф. Нелинейная радиофизика. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2004. – 200 с.
52. Ширман Я. Д., Голиков В. Н., Бусыгин И. Н. и др. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
53. Шифрин Я. С. Вопросы статистической теории антенн. – М.: Сов. радио, 1972. – 384 с.
54. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / Под ред. В. Б. Пестрякова. – М.: Сов. радио, 1973. – 424 с.
55. Яковлев О. И. Распространение радиоволн в солнечной системе. – М.: Сов. радио, 1974. – 192 с.
- 245
56. Яковлев О. И. Космическая радиофизика. – М.: Наука, 1998. – 432 с.
57. Budden K.G. The propagation of radio waves: The theory of radio waves of low power in the ionosphere and magnetosphere. – Cambridge, 1988. – XVI, 669 pp.
58. Davies K. Ionospheric Radio. – London: Peter Peregrinus, 1990. – 580 p.

Литература к части второй

1. Алебастров В. А., Гойфман Э. Ш., Заморин И. М. и др. Основы загоризонтной радиолокации. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
2. Алмазов В. Б. Основы теории радиолокации. – Х.: ВИРТА им. Л. А. Говорова, 1992. – 240 с.
3. Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. – М.: Наука, 1972. – 564 с.
4. Апушкинский Г. П. Методы радиоастрономии. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. – 136 с.

354

5. Афраймович Э. Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
6. Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: Изд-во ГУНЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. – 480 с.
7. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.

8. Бакулев П. А., Сосновский А. Л. Радионавигационные системы. – М.: Радиотехника, 2005. – 224 с.
 9. Безродный В. Г., Блюх П. В., Шубова Р. С., Ямпольский Ю. М. Флуктуации сверхдлинных радиоволн в волноводе Земля – ионосфера. – М.: Наука, 1984. – 144 с.
 10. Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля – ионосфера. – К.: Наукова думка, 1977. – 200 с.
 11. Брюнелли Б. Е., Кочкин М. И., Пресняков И. Н. и др. Метод некогерентного рассеяния радиоволн. – Л.: Наука, 1979. – 189 с.
 12. Вопросы перспективной радиолокации / Под ред. А. В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с.
 13. Вопросы подповерхностной радиолокации / Под ред. А. Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
 14. Гершман Б. Н., Ерухимов Л. М., Яшин Ю. Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. – М.: Наука, 1984. – 392 с.
 15. Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.: Наука, 1967. – 684 с.
 16. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. и др. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
 17. Грудинская Г. П. Распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1975. – 280 с.
 18. Гуревич А. В., Цедилина Е. Е. Сверхдальнее распространение коротких радиоволн. – М.: Наука, 1979. – 248 с.
 19. Гуревич А. В., Шварцбург А. Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. – М.: Наука, 1973. – 272 с.
 20. Долгов В. И., Пашинцев В. П. Основы общей теории связи. – МО РФ, 2000. – 480 с.
 21. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972. – 336 с.
 22. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973. – 502 с.
 23. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
 24. Калинин А. И., Черенкова Е. Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. – М.: Связь, 1971. – 440 с.
- 355
25. Каллистратова М. А., Кон А. И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. – М.: Наука, 1985. – 200 с.
 26. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
 27. Коростылев А. А. Пространственно-временная теория радиосистем. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
 28. Корсунский Л. Н. Распространение радиоволн при связи с искусственными спутниками Земли. – М.: Сов. радио, 1971. – 208 с.
 29. Кравцов Ю. А., Фейзулин З. И., Виноградов А. Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
 30. Краус Дж. Д. Радиоастрономия. – М.: Сов. радио, 1973. – 456 с.
 31. Куницын В. Е., Терещенко Е. Д., Андреева Е. С. Радиотомография ионосферы. – М.: Физматлит, 2007. – 336 с.
 32. Лезин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
 33. Маслов О. Н., Пашинцев В. П. Модели трансионосферных радиоканалов и помехоустойчивость систем космической связи. – Самара: ПГАТИ, 2006. – 357 с.
 34. Молчанов О. А. Низкочастотные волны и индуцированные излучения в околоземной плазме. – М.: Наука, 1985. – 224 с.

35. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высшая школа, 2002. – 510 с.
36. Перов А. И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
37. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2006. – 512 с.
38. Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Татарский В. И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. Случайные поля. – М.: Наука, 1978. – 464 с.
39. Солодовников Г. К., Синельников В. М., Крохмальников Е. Б. Дистанционное зондирование ионосферы с использованием радиомаяков космических аппаратов. – М.: Наука, 1988. – 191 с.
40. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. – М.: Наука, 1967. – 548 с.
41. Терещенко Е. Д. Радиоголографический метод исследования ионосферных неоднородностей. – Апатиты: Полярный геофизический институт КФ АН СССР, 1987. – 100 с.
42. Фалькович С. Е., Волосюк В. К., Горбуненко О. А. Радиотехнические системы дистанционного зондирования. – Х.: Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», 2002. – 157 с.
- 356
43. Фалькович С. Е., Пономарев В. И., Шкварко Ю. В. Оптимальный прием пространственно-временных сигналов в радиоканалах с рассеянием. – М.: Радио и связь, 1989. – 295 с.
44. Фалькович С. Е., Хомяков Э. Н. Статистическая теория измерительных радиосистем. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
45. Чернов Ю. А. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы. – М.: Связь, 1971. – 204 с.
46. Черногор Л. Ф. Физика космоса и астрофизика. – Х.: ХГУ, 1990. – 136 с.
47. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972. – 192 с.
48. Яковлев О. И. Распространение радиоволн в Солнечной системе. – М.: Сов. радио, 1974. – 192 с.
49. Яковлев О. И. Космическая радиофизика. – М.: Наука, 1998. – 432 с.
50. Budden K. G. The propagation of radio waves: The theory of radio waves of low power in the ionosphere and magnetosphere. – Cambridge, 1988. – XVI, 669 pp.
51. Davies K. Ionospheric Radio. – London: Peter Peregrinus, 1990. – 580 pp.
52. Шубарин Ю. В. Антенны сверхвы

Литература к части третьей

Литература к части третьей

1. Апушкинский Г. П. Методы радиоастрономии. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. – 136 с.
2. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
3. Бакулев П. А., Сосновский А. Л. Радионавигационные системы. – М.: Радиотехника, 2005. – 224 с.
- 494
4. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2003. – 462 с.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
6. Буга Н. Н., Фалько А. И., Чистяков Н. И. Радиоприемные устройства. – М.: Радио и связь, 1986. – 320 с.
7. Вопросы перспективной радиолокации / Под ред. А. В. Соколова. – М.: Радиотех-

- ника, 2003. – 512 с.
8. Вопросы подповерхностной радиолокации / Под ред. А. Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
9. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов / Под ред. А. М. Трахтмана. – М.: Сов. радио, 1973. – 368 с.
10. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. и др. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
11. Гуткин Л. С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
12. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
13. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
14. Коростелев А. А. Пространственно-временная теория радиосистем. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
15. Лезин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
16. Краус Дж. Д. Радиоастрономия. – М.: Сов. радио, 1973. – 456 с.
17. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники. – М.: Радио и связь, 1990. – 512 с.
18. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высшая школа, 2002. – 510 с.
19. Опачий Ю. Ф., Глудкин О. П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс). – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 768 с.
20. Оппенгейм А. В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов / Под ред. С. Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
21. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
22. Пестряков В. Б., Кузенков В. Д. Радиотехнические системы. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
23. Перов А. И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
24. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: топология выборки. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
25. Приемно-передающие устройства радиотехнических систем. Часть 1 / Под общей ред. Ю. Н. Седышева. – Х.: ВИРТА, 1991. – 336 с.
26. Приемно-передающие устройства радиотехнических систем. Часть 2 / Под общей ред. Ю. Н. Седышева. – Х.: ВИРТА, 1991. – 322 с.
- 495
27. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применения цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 622 с.
28. Радиоприемные устройства / Под ред. А. П. Жуковского. – М.: Высшая школа, 1989. – 342 с.
29. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник / За ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. – К.: Вища школа, 1999. – 838 с.
30. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника. – 2006. – 512 с.
31. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны. Том 1, 2. Пер. с нем. – М.: Данвел, 2007. – 416 с.
32. Сисоев В. М. Основи радіоелектроніки. – К.: Вища школа, 2004. – 279 с.
33. Хижняк М. А. Терія хвильових процесів. – Х.: Штрих, 2003. – 308 с.
34. Хмель В. Ф., Шумянский И. И., Горобец Н. Н., Глушков А. В., Кошевой В. М. Теория и расчет антенн и устройств сверхвысоких частот. – Одесса, 2001. – 254 с.

35. Черногор Л. Ф. Нелинейная радиофизика. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2004. – 200 с.
36. Шифрин Я. С. Вопросы статистической теории антенн. – М.: Сов. радио, 1972. – 384 с.
37. Шубарин Ю. В. Антенны сверхвысоких частот. – Х.: Изд-во Харьковского университета, 1960. – 284 с.
38. Электроника. Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1985, т. 17.
39. Thompson A. R., Mogan J., Swenson S. Jr. Interferometry and synthesis in radio astronomy. – New York: A Wiley-Interscience Publication, 2001. – 692 p.