

**А. М. Рембовский
А. В. Ашихмин
В. А. Козьмин**

Радиомониторинг

задачи, методы, средства

**3-е издание,
переработанное
и дополненное**

*Под редакцией доктора техн. наук
А. М. Рембовского*

Москва
Горячая линия – Телеком
2012

УДК 621.396.67

ББК 32.95

Р37

Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А.

Р37 Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А. М. Рембовского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М: Горячая линия – Телеком, 2012. – 640 с: ил.

ISBN 978-5-9912-0236-7.

Изложены теоретические и практические вопросы, математические методы и программное обеспечение радиотехнических систем и устройств для выявления и технического анализа радиоизлучений, измерения параметров сигналов, напряженности электромагнитного поля, пеленгования и определения положения источников радиосигналов и радиопомех, обнаружения утечек информации и проведения специальных исследований. Подробно рассмотрены особенности построения современных одноканальных и многоканальных широкополосных цифровых панорамных радиоприемных устройств и пеленгаторов, анализаторов сигналов GSM, CDMA, DVB -Т/Н, TETRA и DECT.

Третье издание книги, второе вышло в 2010 г., было частично переработано и дополнено: во вторую главу добавлены материалы по построению и техническим характеристикам цифровых панорамных приемников АРГАМАК-М и АРГАМАК «ПЛЮС», в четвертую – данные по двухканальному панорамному радиоприемному устройству АРК-Д11 «ПЛЮС», в седьмую – материалы по ручному радиопеленгатору АРК-РПЗМ, мобильным и разворачиваемым автоматическим пеленгаторам с диапазоном рабочих частот от 1,5 до 8000 МГц. В пятой главе переработан материал по сигналам радиоэлектронных средств УКВ диапазона, добавлены разделы по структурам сигналов DVB-Т/Н, TETRA и DECT. В шестую главу включены сведения по цифровым измерительным детекторам и измерению занятости радиочастот, по анализаторам радиосигналов DVB-Т/Н, TETRA и DECT.

Для специалистов в области радиомониторинга, руководителей радиоконтрольных служб, сотрудников силовых ведомств и служб безопасности государственных и коммерческих структур. Будет полезна студентам и аспирантам.

ББК 32.95

ISBN 978-5-9912-0236-7

© ЗАО «ИРКОС», 2006, 2010, 2012

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2012

Предисловие

Аппаратура автоматизированного радиомониторинга (АРМ) получила широкое применение как инструмент решения задач в самых различных областях от управления использованием радиочастотного спектра (РЧС) до контроля радиобстановки при проведении контртеррористических операций. Она служит базой технических мероприятий по противодействию несанкционированному съему информации, в том числе специальных исследований побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН).

Перечень задач, решаемых с помощью средств АРМ, включает выявление и анализ радиоизлучений для идентификации источников сигналов и помех, измерение параметров сигналов и помех, оценку их опасности или ценности для пользователя, измерение напряженности электромагнитного поля или плотности потока мощности, определение положения источников радиосигналов и радиопомех на местности.

Основными функциями АРМ являются постоянное или периодическое наблюдение за эфиром в широком диапазоне частот, оперативное обнаружение, анализ и локализация потенциальных или специально организованных радиоканалов утечки информации и проведение других мероприятий по противодействию съему информации в контролируемых зонах (помещениях) различных ведомств и коммерческих учреждений. В частности, аппаратура АРМ позволяет проверять радиотехнические устройства и вычислительную технику на наличие и уровень ПЭМИН, представляющих интерес для перехвата радиосредствами, а затем и оценивать эффективность мер по предотвращению электромагнитного доступа к конфиденциальным данным (например, экранирование, зашумление).

В данной книге приведены справочные сведения и рекомендации по методам и средствам решения вышеперечисленных задач, отражен опыт разработки и даны классификация и подробное описание современных высокопроизводительных аппаратно-программных средств АРМ, в том числе для обнаружения, радиопеленгования, измерения параметров и технического анализа, идентификации и локализации источников электромагнитного поля. Рассмотрены примеры построения и применения аппаратуры и программного обеспечения АРМ в сложной помеховой обстановке в промышленных центрах, внутри зданий и на открытой местности.

Книга подготовлена с привлечением материалов открытой отечественной и иностранной печати, а также по итогам научно-исследовательских

и опытно-конструкторских работ, проведенных специалистами компании «ИРКОС» под руководством и при непосредственном участии авторов.

В первом разделе детально обсужден перечень задач, решаемых системами АРМ, проведен анализ номенклатуры, структуры, функций и параметров средств АРМ, разработана системная иерархия средств, определены состав, функции и основные технические характеристики для каждого класса средств.

Во втором разделе большое внимание уделено основным параметрам современных радиоприемных устройств, влияющих на эффективность решения задач АРМ. Показаны особенности построения цифровых радиоприемных устройств (ЦРПУ) для диапазона радиочастот от 9 кГц до 18 ГГц. Рассмотрены примеры построения и характеристики одно- и двухканальных ЦРПУ.

Третий раздел посвящен математическим аспектам обнаружения узкополосных сигналов и сигналов с динамическим частотно-временным распределением (программной перестройкой рабочей частоты — ППРЧ) одноканальной и двухканальной радиоаппаратурой.

В четвертом разделе проанализированы пути решения задач АРМ на основе использования многоканальных панорамных ЦРПУ, рассмотрены особенности их аппаратного построения и программного обеспечения (ПО), приведены основные технические данные.

Пятый и шестой разделы посвящены радиосигналам, используемым в системах связи, радиовещания, телевидения и передачи данных, особенностям технического анализа и измерения параметров модулированных и немодулированных сигналов. Приведены примеры измерения параметров радиосигналов и даны рекомендации по использованию ПО.

В седьмом разделе дан обзор и рассмотрены теоретические основы методов радиопеленгации и основные параметры радиопеленгационных устройств, приведены примеры построения многофункциональной аппаратуры радиомониторинга и пеленгования в ВЧ, ОВЧ, УВЧ и СВЧ диапазонах, показано влияние используемых ЦРПУ на эффективность пеленгования.

Восьмой раздел посвящен построению территориально распределенных систем радиомониторинга и определения местоположения источников радиоизлучения (ИРИ). Рассмотрено использование стационарных, мобильных, портативных и носимых средств АРМ. В главе также нашли отражение вопросы, связанные с системным оборудованием станций АРМ, передачей данных по каналам связи и навигацией. Показаны возможности специального ПО для обнаружения сигналов, измерения их параметров и пеленгования ИРИ с отображением местоположения на электронной карте.

В девятом разделе рассматриваются результаты сравнения нескольких методов локализации источников радиоизлучения мобильной станцией радиоконтроля в условиях города и пригородной зоны, показывается предпочтительность амплитудно-угломерного метода местоопределения источников на местности.

Десятый раздел посвящен нескольким конкретным примерам использования оборудования радиомониторинга для государственной радиочастотной службы, на железной дороге и для экологических исследований.

В одиннадцатом разделе изложены особенности построения средств выявления технических каналов утечки информации (ВТКУИ) и несанкционированных ИРИ, рассмотрены методы выявления и локализации источников радиоизлучения на контролируемых объектах, показаны примеры реализации аппаратно-программных систем выявления ВТКУИ, применяемые как внутри помещений, так и на границе контролируемой зоны.

В двенадцатом разделе рассмотрены вопросы построения радиосистем для проведения специальных исследований ПЭМИН, рассмотрены теоретические аспекты и практические методы выявления информативных составляющих, расчета радиусов контролируемой зоны и защищенности объектов информатизации, даны примеры аппаратуры и ПО для специальных исследований ПЭМИН.

Третье издание книги по сравнению со вторым изданием было частично переработано и дополнено новыми материалами. Так, во второй раздел были добавлены материалы по построению и техническим характеристикам носимого одноплатного приемника «Аргамак-М», приемников семейства «Аргамак-плюс» с улучшенными характеристиками, в четвертый раздел — данные по вновь разработанному двухканальному панорамному радиоприемному устройству АРК-Д11-плюс, а в седьмую — материалы по носимому ручному радиопеленгатору АРК-РПЗМ, мобильным и разворачиваемым автоматическим пеленгаторам с опцией коротковолнового пеленгования. В пятом разделе существенно переработан материал по сигналам радиоэлектронных средств УКВ диапазона, добавлены разделы по структурам сигналов DVB-T/H, TETRA и DECT. В шестом разделе появились сведения о методике выполнения измерений параметров радиосигналов, добавлены результаты исследований по структурам и параметрам цифровых измерительных детекторов и измерению занятости радиочастот, а также по новым разработкам анализаторов сигналов базовых станций сигналов цифрового телевидения DVB-T/H, транковой системы TETRA и беспроводной телефонии DECT.

Материалы книги будут полезны специалистам в области радиомониторинга, операторам и руководителям гражданских и силовых радиоконтрольных служб, сотрудникам служб безопасности государственных и коммерческих структур. Книга рекомендуется студентам высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки дипломированных специалистов «Радиотехника» и «Информационная безопасность».

Авторы будут признательны читателям за все замечания по содержанию книги, которые следует направлять по адресу: 129085, Москва, Звездный бульвар, д. 19, компания «ИРКОС», или по электронной почте: info@ircos.ru.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	6
1. Задачи, классификация и структура средств автоматизированного радиомониторинга	10
1.1. Задачи средств радиомониторинга	10
1.2. Классификация средств радиомониторинга	11
1.3. Принципы построения аппаратуры радиомониторинга	15
1.4. Требования к техническим характеристикам средств радиомониторинга	17
1.5. Характеристика семейств средств радиомониторинга	21
1.6. Заключительные замечания	26
2. Радиоприемные устройства для задач радиомониторинга	28
2.1. Назначение, структурная схема и области применения	28
2.2. Приемник прямого усиления	29
2.3. Супергетеродинный приемник	30
2.4. Основные характеристики радиоприемных устройств	33
2.5. Особенности цифровых радиоприемных устройств	62
2.6. Развитие радиоприемных устройств компании ИРКОС	65
2.7. Цифровое радиоприемное устройство АРК-ЦТ1	70
2.8. Цифровой панорамный измерительный приемник АРК-Д1ТР	77
2.9. Цифровое радиоприемное устройство АРК-ЦТЗ	78
2.10. Цифровое радиоприемное устройство АРК-ПР5 «Аргамак»	82
2.11. Выносной дистанционно управляемый конвертер АРК-КНВ4	92
2.12. Панорамные измерительные приемники семейства «Аргамак»	94
2.13. Погрешности измерений основных параметров сигналов измерительными приемниками семейства «Аргамак»	98
2.14. Дальнейшее развитие цифровых радиоприемных устройств семейства «Аргамак»	102
2.15. Заключительные замечания	110
3. Одноканальное и двухканальное обнаружение радиосигналов	112

3.1. Общая характеристика задачи	112
3.2. Одноканальное обнаружение сигналов	114
3.3. Характеристики одноканального обнаружения узкополосного радиосигнала	123
3.4. Одноканальное обнаружение радиосигналов с ППРЧ	125
3.5. Двухканальное обнаружение узкополосных радиосигналов ...	133
3.6. Сравнение одноканальной и двухканальной обработки	135
3.7. Заключительные замечания	136
4. Многоканальные цифровые радиоприемные устройства	138
4.1. Многоканальные панорамные радиоприемные устройства	138
4.2. Двухканальные комплексы АРК-Д11, АРК-Д11-плюс	140
4.3. Многоканальный комплекс АРК-РД8М	142
4.4. Пакет специального математического обеспечения СМО-РД4 .	145
4.5. Заключительные замечания	147
5. Виды модуляции и сигналов в современных РЭС	149
5.1. Административное деление спектра частот	149
5.2. Модуляция в системах радиовещания и связи	152
5.3. Сигналы современных радиоэлектронных средств	168
5.4. Структура GSM сигнала	195
5.5. Структура CDMA сигнала	197
5.6. Структуры DVB-T и DVB-H сигналов	200
5.7. Сигналы транковой системы радиосвязи TETRA	208
5.8. Сигналы беспроводной телефонии DECT	210
5.9. Заключительные замечания	212
6. Измерение напряженности поля и параметров радиосигналов и помех	213
6.1. Нормативные требования к допустимым погрешностям измерений	213
6.2. Измерение центральной частоты радиоизлучения	217
6.3. Определение вида модуляции, измерение ее параметров	224
6.4. Измерение уровня сигнала, напряженности поля и плотности потока мощности	229
6.5. Измерение интенсивности радиопомех	247
6.6. Измерение занятости радиочастотного спектра	261
6.7. Программа СМО-СТА для автоматизированного анализа радиосигналов	276
6.8. Автоматический технический анализ радиосигналов	289
6.9. Автоматический анализ сигналов в программе СМО-РД2	302
6.10. Анализатор параметров базовых станций стандарта GSM	305

6.11. Анализатор параметров базовых станций стандарта CDMA...	315
6.12. Анализатор параметров сигналов цифрового телевидения....	324
6.13. Анализатор параметров сигналов базовых станций TETRA...	341
6.14. Анализатор сигналов беспроводной телефонии DECT.....	343
6.15. Заключительные замечания.....	345
7. Пеленгование источников радиоизлучения.....	347
7.1. История техники пеленгования.....	348
7.2. Структурная схема и характеристики радиопеленгаторов....	351
7.3. Основные технические характеристики радиопеленгаторов ...	352
7.4. Классификация методов пеленгования.....	359
7.5. Системы на основе вращающейся направленной антенны....	361
7.6. Ручной радиопеленгатор АРК-РПЗ.....	364
7.7. Ручной радиопеленгатор АРК-РП4.....	368
7.8. Ручной радиопеленгатор АРК-РПЗМ.....	369
7.9. Автоматический радиокомпас.....	372
7.10. Автоматический радиопеленгатор с малой антенной базой ...	373
7.11. Доплеровский и квазидоплеровский пеленгаторы.....	378
7.12. Фазовый и корреляционный интерферометры.....	380
7.13. Корреляционный интерферометр.....	384
7.14. Алгоритм корреляционно-интерферометрического измерителя	387
7.15. Одноканальный корреляционный интерферометрический измеритель.....	394
7.16. Разворачиваемый корреляционный интерферометр «Артикул-М4».....	399
7.17. Мобильный пеленгатор «Артикул-М1».....	403
7.18. Портативный складной пеленгатор «Артикул-П».....	405
7.19. Портативный складной пеленгатор «Артикул-П11».....	407
7.20. Унифицированные автоматические радиопеленгаторы семейства «Артикул».....	409
7.21. Унифицированные радиопеленгаторы «Артикул-плюс».....	415
7.22. Коррекция ошибок пеленгования в мобильных комплексах...	416
7.23. Заключительные замечания.....	422
8. Системы радиомониторинга и определения местоположения источников радиоизлучения.....	423
8.1. Автоматизированная система радиомониторинга.....	424
8.2. Требования к системе радиомониторинга и определения местоположения ИРИ.....	426
8.3. Структура системы радиомониторинга и определения местоположения ИРИ.....	428

8.4. Организация управления в системе	431
8.5. Стационарная станция «Арча»	438
8.6. Мобильная станция «Аргумент»	441
8.7. Портативная станция «Арена»	447
8.8. Технические характеристики станций системы АРК-ПОМ	449
8.9. Перспективная национальная система радиомониторинга	450
8.10. Специальное программное обеспечение АРК-ПОМ и режимы работы станций	459
8.11. Навигационные системы для станций радиомониторинга	477
8.12. Заключительные замечания	491
9. Локализация источников радиоизлучения мобильной станции и измерение напряженности поля	494
9.1. Пеленгование в городских условиях	494
9.2. Методы локализации источников радиоизлучения мобильной станцией	496
9.3. Методы автоматического вычисления координат источников в движении	498
9.4. Натурное сравнение методов локализации источников	507
9.5. Заключительные замечания	511
10. Применения средств радиомониторинга в системах различного назначения	513
10.1. Система радиомониторинга для радиочастотной службы	513
10.2. Контроль параметров поездной радиосвязи	521
10.3. Измерение напряженности электромагнитного поля в экологических исследованиях	532
10.4. Заключительные замечания	540
11. Обнаружение и локализация технических каналов утечки информации	542
11.1. Основные этапы поиска электромагнитных каналов утечки информации	543
11.2. Обнаружение радиосигналов, излучаемых в контролируемом помещении	545
11.3. Идентификация и локализация радиомикрофонов	551
11.4. Системы дистанционного радиомониторинга удаленных помещений	553
11.5. Программное обеспечение систем дистанционного радиомониторинга	563
11.6. Выявление источников ТКУИ мобильной станцией	569
11.7. Заключительные замечания	579
12. Контроль защищенности информации от утечки по каналу ПЭМИН	580

12.1. Методы выявления информативных составляющих ПЭМИ ...	580
12.2. Двухэтапный алгоритм выявления информативных составляющих ПЭМИ	581
12.3. Вероятностные характеристики периодограммных отсчетов...	582
12.4. Алгоритм ТОС	583
12.5. Виды специальных исследований и показатель защищенности информации	586
12.6. Аппаратные средства оценки информационной защищенности	590
12.7. Программные средства оценки информационной защищенности	592
12.8. Особенности проведения аттестационных испытаний.....	598
12.9. Заключительные замечания.....	615
Заключение	617
Литература	619

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Научное издание

Рембовский Анатолий Маркович
Ашихмин Александр Владимирович
Козьмин Владимир Алексеевич

Радиомониторинг: задачи, методы, средства
3-е издание

Редактор Ю.Н. Чернышов
Верстка Ю.Н. Чернышов
Корректор С.П. Сергеева
Обложка художника В.Г. Ситникова

Подписано в печать 19.02.12. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 40. Тираж 1000 экз. Изд. № 120236