

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКЦИОНЕРНАЯ ХОЛДИНГОВАЯ  
КОМПАНИЯ "ТОПАЗ"**

**Е. А. Башков, А. Г. Воронцов, Н. М. Гришко, А. А. Зори,  
С. А. Зори, В. В. Карнаух, В. В. Коротков, В. В. Марченко,  
Г. В. Мокрый, Ю. В. Рябкин, М. Г. Хламов**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ  
ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ**

**Донецк  
ГВУЗ «ДонНТУ»  
2010**

УДК 621.396.96  
ББК 32.95  
М 54

*Авторы:*

Е. А. Башков, А. Г. Воронцов, Н. М. Гришко, А. А. Зори, С. А. Зори, В. В. Карнаух,  
В. В. Коротков, В. В. Марченко, Г. В. Мокрый, Ю. В. Рябкин, М. Г. Хламов

*Рецензенты:*

А. А. Каргин, доктор технических наук, профессор  
(Донецкий Национальный университет);  
Ю. А. Скобцов, доктор технических наук, профессор  
(Донецкий Национальный технический университет)

Рекомендовано к изданию ученым советом  
ГВУЗ «Донецкий Национальный технический университет»  
(Протокол №8 от 23.10.2009)

**Методы** и средства идентификации источников радиоизлучения / Е. А. Башков,  
**М 54** А. Г. Воронцов, Н. М. Гришко и др.; под ред. проф. А. А. Зори. – Донецк: ГВУЗ  
«ДонНТУ», 2010. – 345 с.: ил. (111), табл. (13), прил. (2).

ISBN 978-966-377-090-1

Книга предназначена для инженеров и специалистов, связанных с разработкой и эксплуатацией радиотехнических систем и комплексов. Приводится анализ источников радиоизлучения, а также математические модели их описаний, методы принятия решений по идентификации объектов радиоизлучений. Рассмотрены методы цифровой обработки радиосигналов и методы повышения измеряемых параметров радиосигналов. Приводятся современные средства обнаружения радиосигналов с использованием акустооптических анализаторов спектра и методы их обработки. На основе системного подхода рассматривается структурно-алгоритмический синтез информационно-измерительных систем с визуализацией радиочастотной обстановки для достоверной идентификации типов отслеживаемых источников радиоизлучений.

Книга будет полезна для аспирантов и студентов радиотехнических специальностей высших учебных заведений.

УДК 621.396.96  
ББК 32.95

© Башков Е.А., Воронцов А.Г.,  
Гришко Н.М., Зори А.А., Зори С.А.,  
Карнаух В.В., Коротков В.В.,  
Марченко В.В., Мокрый Г.В.,  
Рябкин Ю.В., Хламов М.Г., 2010.

ISBN 978-966-377-090-1

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| 1. ВВЕДЕНИЕ   | 7  |
| 2. ТИПЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ   | 10 |
| 2.1. Обзор и анализ источников радиоизлучений   | 10 |
| 2.2. Радиолокационных систем и комплексов пассивной локации для обнаружения и идентификации источников радиоизлучений | 15 |
| 2.3. Математическое описание типовых источников радиоизлучения  | 18 |
| 2.4. Средства измерения спектрального состава радиоизлучения, длительности видеоимпульсов и периода следования        | 29 |
| 2.5. Методы принятия решений при идентификации объектов радиолокации по параметрам формируемых ими излучений          | 34 |
| 3. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ  | 46 |
| 3.1. Цифровая обработка сигналов  | 46 |
| 3.2. Методы оптимизации в условиях априорной неопределенности   | 52 |
| 3.3. Оценочно-корреляционное обнаружение стохастических сигналов  | 61 |
| 3.4. Комплексование устройств обработки информации  | 69 |
| 3.4.1. Принципы комплексования  | 69 |
| 3.4.2. Оптимальное комплексование измерителей   | 72 |
| 3.4.3. Оптимальное комплексование обнаружителей   | 78 |
| 4. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛОВ   | 82 |
| 4.1. Анализ ошибок при измерении угловых координат и дальности  | 82 |
| 4.2. Анализ ошибок и повышение точности определения местоположения источников радиоизлучений                          | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.1. Точность определения местоположения объекта-цели  | 99  |
| 4.2.2. Анализ ошибок многопозиционных систем и комплексов<br>пассивной локации   | 109 |
| 4.3 Методы обнаружения и оценивания параметров траектории<br>объектов источников радиоизлучений  | 117 |
| 4.3.1 Обнаружение траекторий объектов  | 117 |
| 4.3.2 Оценивание параметров траекторий объекта   | 123 |
| 5. ОБНАРУЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В<br>АКУСТООПТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРАХ СПЕКТРА ПРИ<br>АНАЛИЗЕ   | 142 |
| 5.1. Обобщенная структурная схема акустооптического<br>анализатора спектра   | 143 |
| 5.2. Физические процессы, обуславливающие функционирование<br>акустооптических анализаторов спектра                                    | 146 |
| 5.2.1. Дифракционное взаимодействие световых и звуковых волн   | 147 |
| 5.2.2. Пространственно-частотное преобразование светового пучка  | 155 |
| 5.3. Традиционные алгоритмы обнаружения оптических сигналов в<br>АОАС  | 158 |
| 5.4. Исследования эффективности функционирования АОАС при<br>анализе радиолокационных сигналов малой длительности                      | 163 |
| 6. АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ<br>ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ   | 168 |
| 6.1. Алгоритмы пространственной обработки сигналов в<br>акустооптических анализаторах спектра  | 169 |
| 6.2. Алгоритм пространственно-временной обработки оптических<br>сигналов малой длительности в акустооптических<br>анализаторах спектра | 180 |

|   |            |
|---|------------|
| 6.3. Частотное разрешение импульсных сигналов в некогерентных акустооптических спектроанализаторах                                  | 191        |
| 6.4. Частотная разрешающая способность акустооптических спектроанализаторов монохроматических сигналов                              | 197        |
| 6.5 Разработка метода повышения разрешающей способности акустооптического анализатора спектра радиосигналов                         | 200        |
| 6.5.1. Анализ исходных данных и постановка задачи оценки пространственного положения оптических сигналов в фокальной плоскости АОАС | 201        |
| 6.5.2. Статистический синтез алгоритма оценки пространственного положения оптических сигналов в фокальной плоскости АОАС            | 206        |
| 6.5.3. Анализ качества оценки пространственного положения оптических сигналов в фокальной плоскости АОАС                            | 214        |
| 6.6. Определение частоты радиолокационных сигналов с учетом нелинейных эффектов АОАС  | 219        |
| 6.7. Алгоритм распознавания сигналов на выходе акустооптического спектроанализатора   | 227        |
| <b>7. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ</b>   | <b>232</b> |
| 7.1. Структурно-алгоритмическая организация измерительных систем идентификации источников радиоизлучения                            | 232        |
| 7.2. Структуры и алгоритм функционирования подсистемы обнаружения радиоизлучения  | 244        |
| 7.3. Построение структуры и алгоритмов функционирования подсистемы оценивания временных параметров сигналов                         | 249        |
| 7.4. Алгоритмы принятия решений при идентификации источников радиоизлучений на основе комплексного анализа параметров радиосигналов | 252        |
| <b>8. ВИЗУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОСИГНАЛОВ</b>   | <b>257</b> |

|  |     |
|--|-----|
| 8.1. Принципы построения систем визуальной идентификации                           | 257 |
| 8.2. Методы визуализации частотно-временных характеристик источников радиосигналов | 262 |
| 8.2.1. Режим визуализации в виде поля цветности                                    | 267 |
| 8.2.2. Режим геометрической визуализации   | 271 |
| 8.3. Система визуальной идентификации источников радиосигналов                     | 276 |
| Заключение   | 281 |
| Литература   | 288 |
| Приложение А   | 306 |
| Приложение Б   | 337 |

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день состояние радиотехнического ресурса Украины характеризуется высокой эффективностью по использованию в широком диапазоне частот различными категориями пользователей. Успешное развитие и обширное применение радиотехнологий в сфере телекоммуникационных услуг ведет к тенденциям стабильного увеличения числа пользователей радиочастотами и является причиной существующего дефицита свободных полос частот. В связи с этим остро стоит вопрос об эффективности использования радиочастотного ресурса Украины. Обеспечения максимально эффективного использования радиочастотного ресурса Украины основывается на чётком разграничении полос частот и времени работы всех категорий пользователей и осуществления государственного надзора в этой сфере. В этом случае радиочастотный мониторинг выступает как практическая процедура государственного надзора за использованием радиочастотного ресурса, и задачи совершенствования технических средств радиочастотного мониторинга приобретают особую актуальность. Одной из задач радиочастотного мониторинга является получение, обобщение и анализ параметров сигналов формируемых радиотехническими устройствами.

Современные средства контроля и идентификации активных радиотехнических систем имеют большое значение для обеспечения национальной безопасности страны. Национальная безопасность страны требует наличия современных средств контроля и мониторинга активных радиотехнических систем. Важное место в мирное время отводится средствам радиотехнической разведки, которая обеспечивает большую часть необходимой информации.

В настоящее время интенсивно развиваются разнообразные технические виды разведки, среди которых одним из современных и эффективных является радиоэлектронная разведка (РЭР). По данным, которые мы имеем, до 80% разведывательной информации в мирное время добывается с помощью радиоэлектронных средств. В системе РЭР одним из важнейших её видов является радиотехническая разведка (РТР). Основными задачами РТР является обнаружение и распознавание различных источников радиоизлучения (ИРИ) и контроль радиоэлектронной обстановки.

В РТР используется широкий спектр радиотехнических средств, которые позволяют на основании анализа характеристик используемых ИРИ сигналов установить принадлежность таких объектов как: системы противовоздушной обороны (ПВО) и противоракетной обороны (ПРО), командные пункты, аэродромы, зенитно-ракетные комплексы (ЗРК) и др. РТР незаменима в интересах радиоэлектронной борьбы и целеуказаний для ракетно-ударных комплексов.

С целью повышения эффективности РТР, увеличения энергодоступности разведываемых ИРИ и масштабного контроля мест дислокации излучаемых радиотехнических объектов условного противника, средства РТР размещают как стационарно, так и различных носителях: наземных, космических, корабельных, авиационных и т.п. Кроме того, для нормального функционирования как отдельных средств РТР, так и их сетей, необходимы средства связи, управления, обработки и передачи информации, которая добывается, потому что только в таких условиях можно гибко реагировать на постоянно изменяющуюся сложную радиоэлектронную обстановку.

Основные преимущества средств РТР следующие:

- пассивность ввиду отсутствия собственного излучения, что обеспечивает достаточную скрытность её работы;
- большая дальность обнаружения ИРИ;
- обработка входного потока информации в масштабе реального времени;
- Высокая вероятность распознавания типов объектов ИРИ.

Как показывают настоящие исследования, объём информации, которая поступает с помощью средств РТР, позволяет с высокой вероятностью определить степень боеготовности вероятного противника и по ряду признаков прогнозировать момент кризисных ситуаций, либо час «Ч». Поэтому информационное обеспечение родов войск и эффективности системы ПРО требует создание высокоэффективных, интеллектуальных, наукоемких информационно-измерительных систем в составе радиотехнических комплексов (РТК) для обнаружения, обработки радиосигналов и идентификации источников радиоизлучений. Наиболее важными и распространенными (ИРИ) являются самолетные, корабельные РЛС, а также наземные РЛС средств ПВО.

Отечественные и зарубежные разработчики систем обнаружения надводных, воздушных и наземных ИРИ занимаются интенсивными исследованиями по созданию технических комплексов и систем, которые



осуществляли бы не только эффективное обнаружение, оценку параметров объектов радиоизлучения (ОР) и их идентификацию, но и в тоже время были практически невидимыми для ОР. Координаты ОР в этих системах определяются триангуляционным и разностно-дальномерным методами пассивной локации. Указанные ОР могут быть источниками как импульсного, так и непрерывного излучения, причём как частотные, так и временные параметры излучения могут изменяться в процессе функционирования РЛС по сложному закону, задаваемому от управляющей ЭВМ, в том числе и по случайному. Количество дискретных значений частоты несущих колебаний используемых при перестройке, а также частот следования импульсов при дискретной перестройке составляет от единиц до десятков. Это обстоятельство ограничивает возможности выбора метода обработки этих сигналов, используя гипотезы стационарности и эргодичности. Нестационарность сигналов обуславливает необходимость оценивания их информативных параметров в течение всего времени наблюдения ИРИ. Сокращение временного сегмента для оценки параметров ОР может снизить их информативность, что влечет ухудшение достоверности идентификации. Данное обстоятельство указывает на необходимость обработки полноразмерных реализаций сигнала, отображающих радиоизлучение, средствами получения динамических спектральных оценок характеристик в реальном масштабе времени. Сложный характер изменения и нестационарность сигналов во время излучения РЛС, обуславливает необходимость разработки специальных последовательных процедур их анализа в информационно-измерительных системах (ИИС) идентификации со специальным программным обеспечением в реальном режиме времени.