

УДК 654.19:621.396.97

ББК 32.884.8

P55

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор Ю. А. Ковалгин;  
доктор техн. наук, профессор С. Л. Мишенков

Рихтер С. Г.

**P55** Системы и сети цифрового радиовещания. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 448 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0626-6**

Рассмотрены перспективные системы цифрового радиовещания (ЦРВ), основанные на представлении и передаче звуковых сигналов в цифровой форме во всех звеньях вещательного тракта – от студии до абонентского приемника и способные удовлетворить высокие требования слушателей к качеству передачи звука при различных условиях приема. Систематизированы сведения по основам технологии, системам и сетям ЦРВ. Рассмотрены вопросы компактного представления звуковых сигналов; методы передачи аудиоданных по цифровому каналу связи и обработки сигналов с целью их адаптации к каналу передачи; уделено внимание радиоприёму в движении. Дано описание стандартизованных систем ЦРВ, рассмотрены вопросы организации и проектирования спутниковых систем ЦРВ. Представлена информация об организации радиовещания на заданной территории, основах технологии одночастотных вещательных сетей, технических основах планирования наземных сетей. Приведены соображения по выбору системы ЦРВ для России. Представлен краткий анализ услуг и сетевых аспектов радиовещания с учётом современных реалий и обсуждаются перспективы альянса «ЦРВ + IP-радио». В основу монографии положены результаты научных исследований и лекции, которые автор читает в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ) более двадцати лет.

Для широкого круга читателей интересующихся проблематикой ЦРВ – специалистов, преподавателей, аспирантов и студентов.

**ББК 32.884.8**

Научное издание  
Рихтер Сергей Георгиевич  
Системы и сети цифрового радиовещания  
Монография

Тиражирование книги начато в 2017 г.

*Все права защищены.*

*Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя*

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

[www.techbook.ru](http://www.techbook.ru)

© С. Г. Рихтер

# Оглавление

Предисловие .....	3
Введение .....	5
<b>Часть I. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>15</b>
<b>А. Основы компактного представления звуковых сигналов .....</b>	<b>15</b>
1.1. Звуковые сигналы: основные свойства, цифровое представление и требования к качеству передачи .....	15
Требования к качеству передачи .....	21
Цифровое представление звуковых вещательных сигналов .....	25
Влияние цифрового тракта на качество передачи звуковых сигналов .....	35
1.2. Восприятие звука и основы компактного представления звуковых вещательных сигналов (кодирование источника) .....	38
Восприятие звука .....	38
Введение в технологию компактного представления ЗВС.....	44
О задачах, решаемых психоакустической моделью ....	51
1.3. Стандартизация систем компрессии цифровых аудиоданных. Кодеки MPEG и оценка их качества .....	56
Стандартизация систем компрессии цифровых аудиоданных .....	56
Структура кодера для компрессии цифровых аудиоданных.....	60
Кодеки стандарта MPEG-1 ISO/IEC11172-3 .....	62
Контроль качества алгоритмов кодирования с компрессией цифровых аудиоданных .....	68
1.4. Особенности кодирования речевого сигнала .....	73
Речь и речевой сигнал. Классификация методов кодирования речи .....	73
Основные принципы параметрического кодирования речи .....	78
Особенности кодирование речи в гибридных кодерах ..	83
Качество передачи и разборчивость речи .....	90

<b>Б. Цифровой канал связи и методы передачи аудиоданных</b>	<b>94</b>
1.5. Основные характеристики цифрового канала связи	94
Модель цифрового канала связи	94
Базовые модели дискретного канала	97
Методы модуляции, применяемые в системах ЦРВ	101
Спектральная и энергетическая эффективность модуляции	114
1.6. Условия приема и искажения сигнала в радиоканалах ЦРВ	118
Типовые условия приема сигнала в системах ЦРВ	118
Характерные искажения сигнала в радиоканалах при разных вариантах приема	121
Модель непрерывного канала	131
Неустранимые ошибки и ограничения на скорость передачи сигнала	135
1.7. Методы цифровой передачи аудиоданных по каналам связи	139
Последовательная передача аудиоданных по каналам связи	139
Параллельная передача сигналами с ортогональным частотным разделением (OFDM)	142
Сравнительный анализ последовательной и параллельной систем передачи	155
<b>В. Обработка сигналов с целью адаптации к каналу передачи</b>	<b>157</b>
1.8. Защита от ошибок в цифровом вещательном канале	157
Ошибки и методы защиты от них в цифровом вещательном канале	158
Основные принципы помехоустойчивого кодирования (кодирования канала)	164
Сверточные коды и их основные характеристики	167
Назначение и выбор характеристик перемежения по времени и частоте	175
Каскадное кодирование: назначение и основные характеристики	179
1.9. Демодуляция/декодирование и помехоустойчивость приема	181
Демодуляция и достоверность приема цифровых данных	181
Прием в целом и субоптимальное декодирование	189
Основные принципы декодирования	191
Декодирование сверточных кодов и алгоритм Витерби	194

Помехоустойчивость радиоприема и критерий деградации качества услуги вещания .....	198
1.10. Радиоприём в движении: базовые сведения и характеристики .....	201
Эффект Доплера и его влияние на характеристики цифровой системы передачи .....	201
Эмпирические правила оценки скорости $V_{\max}$ , принятые в стандартах ЦТРВ .....	206
Показатель устойчивости системы ЦТРВ к доплеровскому сдвигу .....	211
Литература к части I .....	216
<b>Часть II. СИСТЕМЫ</b> .....	221
2.1. Общие требования и варианты технической реализации систем ЦРВ .....	221
Общие требования к цифровому радиовещанию .....	221
Варианты технической реализации систем цифрового радиовещания .....	222
Стандартизованные системы ЦРВ и их основные характеристики .....	233
2.2. Наземные системы ЦРВ на основе радиовещательной платформы DAB .....	239
О радиовещательной платформе DAB .....	239
Система Eureka 147/DAB: базовые сведения и характеристики .....	241
Особенности систем DAB+ и DMB .....	252
Распространение технологии DAB в мире .....	257
2.3. Цифровое радиовещание на частотах ниже 30 МГц. Система DRM30 .....	262
Об использовании диапазона частот до 30 МГц .....	263
Краткие сведения о радиоканалах ВЧ диапазона .....	265
Система DRM30: структурная схема передающей части, режимы передачи, оборудование .....	271
Системы, работающие в совмещенном режиме на частотах до 30 МГц .....	279
Анализ технических аспектов вещания в формате DRM30 .....	283
2.4. Системы ОВЧ диапазона, работающие в совмещенном режиме .....	286
О гибридном радиовещании в ОВЧ диапазоне .....	286
Формат IBOC HD RADIO FM: история развития и основные характеристики .....	288

Основные характеристики системы DRM+ .....	291
Сравнительный анализ систем гибридного радиовещания IBOC HD RADIO FM и DRM+ .....	296
2.5. Системы спутникового цифрового радиовещания .....	299
Варианты организации спутникового вещания .....	299
Концепция системы <i>MediaStar</i> с многолучевой антенной .....	303
Комбинированные (гибридные) спутниково-наземные системы (CHC) ЦРВ .....	305
Сравнительный анализ трёх вариантов реализации CHC ЦРВ .....	321
2.6. Основы проектирования спутниковых систем ЦРВ .....	324
Общие вопросы проектирования .....	325
Анализ исходных данных и определение основных системных параметров .....	327
Расчет помехоустойчивости цифровых СЛС .....	335
Энергетический расчет (определение бюджета) СЛС ..	337
Примеры бюджетов линий систем S-DAB и WS .....	342
<i>Литература к части II</i> .....	345
<b>Часть III. СЕТИ</b> .....	349
3.1. Организация радиовещания на заданной территории ....	349
Система радиовещания и задача покрытия территории вещанием .....	349
Построение сети наземного цифрового радиовещания ..	356
О выборе системы радиовещания для России .....	362
3.2. Основы технологии одночастотных вещательных сетей ..	368
Принцип построения и функционирования .....	368
Обеспечение работоспособности одночастотных сетей ..	373
Модель радиоприема и сетевой выигрыш в одночастотной сети .....	375
3.3. Сети цифрового радиовещания и основы их частотного планирования .....	386
Параметры, используемые для планирования сетей цифрового вещания .....	386
Технические основы планирования наземных сетей ...	391
Принципы частотного планирования сетей цифрового вещания .....	398
О частотном планировании одночастотных сетей .....	401
3.4. Радиовещание в XXI веке: сетевые аспекты .....	407
Услуги современного радиовещания .....	408

О развитии техники доставки и приема вещательного сигнала .....	410
Широкополосные и вещательные сети .....	421
Топология Tower Overlay .....	425
<i>Литература к части III</i> .....	426
<b>Заключение</b> .....	430
<b>Основные сокращения и определения</b> .....	435