

УДК 621.396.6  
ББК 32.884  
П58

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *Ю. А. Ковалгин*,  
канд. техн. наук, профессор *В. И. Журавлев*

**Попов О. Б., Рихтер С. Г.**

**П58** Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия–Телеком, 2015. – 342 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0289-3.**

Анализируются основные характеристики сигналов и каналов звукового вещания. Рассмотрены базовые математические процедуры, используемые при цифровой обработке звуковых сигналов; способы представления и основные алгоритмы обработки сигнала в канале звукового вещания, включая анализ искажений сигнала на всех этапах его передачи. Значительное внимание уделено проблемам объективной оценки качества вещательного сигнала в системах, не нормируемых в рамках современного метрологического обеспечения.

Для студентов, обучающихся по специальностям «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» и «Средства связи с подвижными объектами», соискателей магистерской степени по системам телекоммуникаций, будет полезна студентам, обучающимся по специальности «Аудиовизуальная техника» и специалистам эксплуатационных служб радиосвязи, радиовещания и телевидения.

*Адрес издательства в Интернет [www.techbook.ru](http://www.techbook.ru)*

Учебное издание

**Попов Олег Борисович, Рихтер Сергей Георгиевич**

**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ТРАКТАХ  
ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ**

Учебное пособие

*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)

© О.Б. Попов, С.Г. Рихтер

## Содержание

Введение .....	3
1. СИГНАЛЫ И КАНАЛЫ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ .....	5
1.1. Особенности организации системы звукового вещания в России ....	5
1.2. Звуковой вещательный сигнал: описание и основные свойства .....	8
1.3. Основы восприятия звуковых сигналов .....	13
1.4. О необходимости обработки сигнала в канале звукового вещания	21
1.5. Требования к качеству передачи сигналов звукового вещания .....	25
1.6. Практическое занятие: оценка распознаваемости, разборчивости и качества звуковых сигналов .....	29
Контрольные вопросы .....	35
2. НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА И ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ .....	36
2.1. Способы спектрального анализа вещательного сигнала .....	36
2.1.1. Требования к спектральному анализу вещательного сигнала .....	36
2.1.2. Полосовая фильтрация в задачах спектрального анализа звуковых сигналов .....	39
2.1.3. Способы формирования спектральных оценок звуковых сигналов .....	42
2.1.4. Особенности спектрального оценивания с помощью ортгональных преобразований .....	44
2.1.5. Повышение точности БПФ-анализа звуковых сигналов .....	50
2.2. Преобразование Гильберта в задачах обработки сигнала звукового вещания .....	53
2.2.1. Общие сведения .....	55
2.2.2. Реализация преобразования Гильберта с помощью ДПФ ....	58
2.2.3. О погрешности синтеза ортогонального сигнала на базе преобразования Гильберта .....	60
2.2.4. О точности формирования ортогонального сигнала на основе БПФ .....	63
2.3. Фильтрация на основе нелинейного транспонирования спектра комплексного сигнала .....	63
2.4. Практическое занятие: спектральный анализ и искажения, обусловленные неверной интерпретацией его результатов .....	68
Контрольные вопросы .....	73
3. ЦИФРОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ .....	74
3.1. Вводные замечания .....	74
3.2. Аналого-цифровое преобразование .....	74
3.3. Мгновенное и почти мгновенное компандирование .....	81
3.4. Дифференциальные методы квантования .....	85

3.5. Повышение эффективности цифрового представления ЗВС .....	87
3.6. Задача изменения частоты дискретизации .....	89
3.7. Влияние цифрового тракта на качество передачи звуковых сигналов. Маскировка .....	94
3.8. Практическое занятие: анализ искажений цифрового представления звуковых вещательных сигналов .....	104
Контрольные вопросы .....	113
<b>4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗВУКОВЫХ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ (КОДИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА) .....</b>	<b>114</b>
4.1. Вводные замечания .....	114
4.2. Представление звуковых вещательных сигналов в частотной области .....	118
4.3. Структура кодера для компрессии цифровых аудиоданных .....	121
4.4. Психоакустические модели и свойства слуха .....	123
4.5. Основные операции кодирования (базовый стандарт MPEG-1 и MPEG-2 Audio) .....	132
4.6. Элементы системы кодирования ATSC Dolby AC-3 .....	138
4.7. Искажения звука при сжатии аудиоданных (критический анализ алгоритмов компрессии аудиоданных) .....	145
4.8. Об улучшении качества звучания цифрового сигнала .....	149
4.9. Практическое занятие: анализ искажений компактного представления звуковых вещательных сигналов .....	154
Контрольные вопросы .....	162
<b>5. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА В КАНАЛЕ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ .....</b>	<b>163</b>
5.1. Задача авторегулирования уровня ЗВС в канале передачи .....	164
5.2. Влияние работы авторегуляторов на свойства звуковых сигналов .....	169
5.3. Устройства динамической обработки сигналов в радиовещании .....	178
5.4. Развитие методов обработки вещательных сигналов .....	185
5.5. Системы шумоподавления .....	187
5.6. Неискажающее управляемое компандирование звукового сигнала .....	195
5.7. Алгоритм неискажающего компандирования ЗВС по гильбертовской огибающей .....	196
5.8. Практическое занятие: анализ результатов работы авторегулятора уровня ЗВС и системы шумоподавления .....	203
5.8.1. Анализ результатов работы авторегулятора уровня ЗВС ...	203
5.8.2. Анализ результатов работы системы шумоподавления .....	203
Контрольные вопросы .....	215
<b>6. АУДИОПРОЦЕССОРНАЯ ОБРАБОТКА ЗВУКОВЫХ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ В КАНАЛЕ ПЕРЕДАЧИ .....</b>	<b>216</b>
6.1. Психоакустические процессоры .....	216
6.2. Процессоры пространственной обработки .....	221

6.3. Аудиопроцессорная обработка вещательного сигнала в трактах вторичного распределения .....	230
6.3.1. Цель аудиопроцессорной обработки ЗВС .....	230
6.3.2. Аудиопроцессоры OPTIMOD: особенности обработки звука и применения .....	233
6.3.3 Об эффективности аудиопроцессорной обработки сигнала на входе РВ передатчика .....	241
6.3.4. Автоматический регулятор с использованием гильбертовской огibaющей вещательного сигнала (АРГО) .....	242
6.4. Практическое занятие: анализ изменений сигнала при аудиопроцессорной обработке .....	253
Контрольные вопросы .....	258
7. ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ЗВУКОВЫХ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ В АДАПТИВНЫХ КАНАЛАХ .....	259
7.1. Метрология звукового вещания и свойства слуха .....	259
7.2. Методы оценки качества звукового сигнала .....	261
7.3. Методика анализа изменений звуковых сигналов на основе статисти- ческих распределений их параметров .....	270
7.3.1. Совместимость статистического подхода с существующим метрологическим обеспечением каналов звукового вещания. Выбор информативных параметров сигнала .....	270
7.3.2. Энергетические параметры вещательного сигнала .....	273
7.3.3. Параметры формы вещательного сигнала .....	279
7.3.4. Спектральные параметры вещательного сигнала .....	282
7.4. Метод комплексного статистического оценивания (МКСО) .....	287
7.5. Методика оценки качества передачи сигналов звукового вещания на основе использования МКСО .....	298
7.6. Примеры использования МКСО .....	304
7.7. Практическое занятие: анализ результатов измерений характерных искажений звукового сигнала в каналах передачи .....	311
Контрольные вопросы .....	317
ПРИЛОЖЕНИЕ. Основы цифрового спектрального анализа .....	318
Основные сокращения и определения .....	332
Список литературы .....	334