

**В. С. Кузнецов**

# **Теория многоканальных широкополосных систем связи**

*Рекомендовано УМО по образованию в области  
инфокоммуникационных технологий и систем связи  
в качестве учебного пособия для студентов вузов,  
обучающихся по направлению подготовки 210700 –  
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
квалификации (степени) «бакалавр»  
и квалификации (степени) «магистр»*

**Москва  
Горячая линия - Телеком  
2013**

УДК 621.396.218

ББК 32.84

К89

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *А. С. Дойников*; канд. техн. наук *М. П. Кочетков*

**Кузнецов В. С.**

**К89** Теория многоканальных широкополосных систем связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2013. – 200 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0281-7.**

Изложены теоретические основы построения современных многоканальных широкополосных систем связи и передачи данных на основе МДКР (CDMA) и ППРЧ (FHMA), включая методы модуляции, теорию потенциальной помехоустойчивости и помехозащищённости в условиях воздействия естественных и искусственных помех. Особое внимание отводится изложению теоретических принципов линейного разделения сигналов.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению 210700 – «Информационные технологии и системы связи», будет полезно для аспирантов и специалистов.

**ББК 32.84**

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

**Кузнецов Виталий Степанович**

**Теория многоканальных широкополосных систем связи**

Учебное пособие для вузов

Редактор Ю. Н. Чернышов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 12.08.2012. Формат 60×88/16. Усл. печ. л. 12,5. Изд. № 12281.

Тираж 500 экз. (1-й завод 100 экз.)

ISBN 978-5-9912-0281-7

© В. С. Кузнецов, 2013

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2013

## Введение

Широкополосные системы связи получили своё название вследствие того, что полоса, занимаемая используемыми в них сигналами, намного шире полосы, необходимой для передачи непосредственно информации.

Технология использования расширенного спектра (spread spectrum — SS) была разработана в 1950-х годах. Расширение спектра используется сегодня в большинстве современных систем связи NASA, в армии США для обеспечения множественного доступа, устойчивости к интерференции и масштабирования.

Так как изначально системы SS разрабатывались для военных целей, вначале подробно рассмотрены методы повышения устойчивости к преднамеренным помехам. Применение псевдослучайных последовательностей (ПСП) является основой всех современных систем связи типа SS. Поэтому подробно рассмотрены два основных метода многоканальной связи с расширением спектра: прямая последовательности (ПП, DSSS) и псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ, FHSS). В материалах курса не рассмотрены широкополосные системы с модуляцией OFDM, так как данные системы не решают проблемы многостанционного доступа.

В системах радиолокации использование методов широкополосной передачи позволяет повысить точность измерения дальности до цели при прочих равных условиях, а также преодолеть известное противоречие между дальностью действия локатора и его разрешающей способностью.

Книга написана по материалам курса лекций для магистров, читаемых автором в Московском институте электронной техники (МИЭТ) с 2005 г.

# 1 Методы расширения спектра и определение помехозащищенности широкополосных систем связи. Коэффициент расширения спектра (выигрыш обработки). Определение систем связи с СЧ, системы SFH

---

## Методы расширения спектра

Рассмотрим наиболее распространенные методы расширения спектра информационного сигнала на большее число координат диапазона. Для сигнала с длительностью  $T$  и шириной полосы  $W$  размерность пространства сигналов приблизительно равна  $2WT$ . Размерность диапазона можно повысить за счет увеличения  $W$  (расширение спектра) или  $T$  (расширение временного диапазона или переключение временных интервалов). При расширении спектра сигнал расширяется в частотной области. При переключении временных интервалов сообщению, передаваемому со скоростью  $R$ , выделяется более длительное время, чем необходимо для передачи данных с помощью обычного метода модуляции. В течение этого времени данные передаются отдельными пакетами согласно требованиям кода. Можно сказать, что при переключении временных интервалов сигнал расширяется во временной области. В обоих случаях создание преднамеренных помех будет осложнено тем, что область, используемая сигналом в каждый момент времени, будет неопределенной.

Наиболее распространенными методами расширения спектра являются метод прямой последовательности (direct sequencing — DS, рис. 1) и метод скачкообразной перестройки частоты (frequency hopping — FH) [1]. Еще один метод — переключение временных интервалов (time hopping — TH) используется при наличии преднамеренных помех, поскольку он позволяет скрывать координаты сигнала от потенциального противника. Кроме того, существуют смешанные методы, такие, как DS/FH, FH/TH или DS/FH/TH. Поскольку эти методы — просто развитие основных, детально они рассматриваться не будут. Обратимся к двум основным методам расширения спектра: прямой последовательности и скачкообразной перестройки частоты.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Лекция 1. Методы расширения спектра и определение помехозащищенности широкополосных систем связи. Коэффициент расширения спектра (выигрыш обработки). Определение системы связи с СЧ, системы SFH .....	4
Лекция 2. Анализ помехозащищенности при ППРЧ с ОФМ, ЧМн и с $m$ -ичной манипуляцией.....	19
Лекция 3. Анализ помехозащищенности при ППРЧ с ЧМн и $L$ -кратном разнесении. Описание,технические характеристики и помехозащищенность системы связи европейского стандарта GSM (TD-SFH MA)....	26
Лекция 4. Общая теория и классификация методов линейного разделения сигналов.....	35
Лекция 5. Системы расширения спектра методом прямой последовательности (DS). Корреляционные свойства шумоподобных сигналов и расширяющих ансамблей.....	52
Лекция 6. Множественный доступ с кодовым разделением каналов. Определение максимально допустимого числа $N_{аб}$ одновременно работающих абонентов .....	65
Лекция 7. Подавление сигнала широкополосным и узкополосным шумом. Анализ помехозащищенности при ШПС с ПК.....	75
Лекция 8. Влияние импульсной интерференции на широкополосные системы связи с прямым расширением спектра. Роль ПК с перемежением .....	84
Лекция 9. Оптимальный приём сигналов со случайной начальной фазой. Синтез структуры идеального некогерентного приёмника. Помехоустойчивость некогерентного приёма .....	91
Лекция 10. Скремблирование. Многопутевое распространение сигнала и работа Rake-приёмника.....	101

Лекция 11. Радиоинтерфейс IS-95 системы cdmaOne. Основные характеристики системы Forward link. Логические каналы. Принцип уплотнения и разделения каналов. Организация кадровой синхронизации канала прямого трафика. Взаимная кадровая синхронизация БС.....	110
Лекция 12. Reverse link стандарта IS-95. Канал доступа. Канал обратного трафика. Их функциональное назначение. Принцип организации многостанционного доступа в обратной линии и структура основных сигналов канала обратного трафика. Кадровая синхронизация.....	125
Лекция 13. Методы регулировка мощности передатчиков мобильной связи.....	134
Лекция 14. Эстафетная передача управления МС из сектора в сектор (softer handover) и из соты в соту (soft handover). Четыре списка пилотных каналов БС, формируемых ЦКМС для процедуры эстафетной передачи управления МС.....	142
Лекция 15. Радиоинтерфейс системы UMTS/FDD. Downlink. Временная структура кадров и слотов выделенных физических каналов (DPCH) в линии «вниз». Разделение физических каналов с помощью канализирующих кодов. Синхронизация границ слотов и кадра в линии «вниз».....	151
Лекция 16. Радиоинтерфейс системы UMTS/FDD. Uplink. Временная структура кадров и слотов выделенных физических каналов (DPCH) в линии «вверх». Организация многоканального доступа. Общие физические каналы в линии «вверх».....	165
Лекция 17. Синхронизация широкополосных систем связи с ШПС. Система синхронизации пакетных систем связи и управления. Проблемы синхронизации.....	175
Приложение 1. Сравнительный анализ cdma2000 и WCDMA..	187
Приложение 2. Общая концепция мобильной связи третьего поколения.....	190
Принятые символы и сокращения.....	194
Литература.....	197