

УДК 621.396.43:621.391.827(075.8)

ББК 32.884

О-75

Рецензенты: канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой беспроводных систем и сетей СибГУТИ *С. С. Абрамов*; канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией распространения радиоволн НИИР *С. И. Старченко*; зав. сектором НИИР *В. В. Святогор*

Авторы: М. А. Быховский, Ю. М. Кирик, В. И. Носов, О. Ю. Сахаров, А. С. Сорокин, Н. Б. Сорокин

**О-75 Основы** проектирования цифровых радиорелейных линий связи. Учебное пособие для вузов / М. А. Быховский, Ю. М. Кирик, В. И. Носов и др.; Под ред. профессора М. А. Быховского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 332 с: ил.

**ISBN 978-5-9912-0309-9.**

Систематизированы обширные сведения в области проектирования и расчета цифровых радиорелейных линий связи (ЦРРЛ) прямой видимости, а также анализа внутренней и внешней электромагнитной совместимости этих линий. Рассмотрены области применения ЦРРЛ, основные принципы построения и оборудование современных ЦРРЛ, методы расчета трасс ЦРРЛ, методы анализа внутрисистемной и межсистемной ЭМС ЦРРЛ. Приведены практические примеры применения изложенных в книге методов расчетов. Приведено описание оригинального программного комплекса для расчета качественных показателей цифровых радиорелейных линий, учебная версия которого доступна для читателей на сайте издательства, а также на сайтах МТУСИ и СибГУТИ и предназначена для выполнения студентами курсовых и дипломных работ, связанных с проектированием ЦРРЛ. Учебное пособие создано на основе педагогического опыта авторов в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ) и Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ).

Для студентов высших учебных заведений, изучающих курс «Радиорелейная связь», будет полезна аспирантам, преподавателям и специалистам.

**ББК 32.884**

*Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU*

Учебное издание

## **Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи**

Учебное пособие для вузов

*Под ред. профессора М. А. Быховского.*

Редактор Ю. Н. Чернышов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника О. В. Карповой

Подписано в печать 15.10.2013. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 20,75. Тираж 1000 экз. (2-й завод 100 экз.)

ISBN 978-5-9912-0309-8

© Коллектив авторов, 2014

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2014

# Оглавление

Введение .....	3
<b>1. Радиорелейная связь и области применения ЦРРЛ ..</b>	<b>5</b>
1.1. История развития аналоговых радиорелейных линии связи .....	5
1.2. Цифровые радиорелейные линии связи .....	8
1.3. Области применения цифровых радиорелейных систем .....	12
1.4. Перспективы развития ЦРРЛ .....	16
Контрольные вопросы .....	17
Литература .....	18
<b>2. Основные принципы построения ЦРРЛ .....</b>	<b>19</b>
2.1. Общие принципы построения .....	19
2.2. Многоствольные ЦРРЛ .....	28
2.3. Частотные планы ЦРРЛ .....	29
2.4. Антенны ЦРРЛ.....	32
2.5. Антенно-волноводные тракты ЦРРЛ .....	36
2.6. Выбор трассы и мест расположения станций ЦРРЛ ..	41
2.6.1. Нормирование качественных показателей ЦРРЛ ...	41
2.6.2. Гипотетические эталонные цифровые тракты .....	44
2.6.3. Нормы на показатели качества и готовности .....	45
2.6.4. Выбор трассы ЦРРЛ и местоположения РРС .....	47
Контрольные вопросы .....	51
Литература .....	52
<b>3. Оборудование современных ЦРРЛ .....</b>	<b>53</b>
3.1. Основные типы ЦРРЛ .....	53
3.2. Структурные схемы цифровых РРС .....	54
3.2.1. Мультиплексирование .....	55
3.2.2. Скремблирование и кодирование .....	59
3.2.3. Модуляция .....	60
3.3. Характерные особенности оборудования цифровых РРС, выполненные на основе современных достижений .....	61
3.3.1. Повышение пропускной способности магистральных высокоскоростных ЦРРЛ .....	62
3.3.2. Оборудование среднескоростных универсальных ЦРРЛ для городской и внутризонавой связи .....	64

3.3.3. Низкоскоростные ЦРРЛ с временным дуплексом ..	67
3.3.4. ЦРРЛ для технологической связи на трубопроводах	68
3.4. Управление и обслуживание на сетях ЦРРЛ .....	69
3.4.1. Управление сетью ЦРРЛ .....	69
3.4.2. Особенности обслуживания .....	70
3.5. Выбор оборудования для конкретного проекта РРЛ ..	72
Контрольные вопросы .....	74
Литература .....	75
<b>4. Расчет трасс ЦРРЛ .....</b>	<b>76</b>
4.1. Расчёт множителя ослабления на пролете .....	76
4.1.1. Расчёт множителя ослабления на трассе прямой видимости .....	77
4.1.2. Влияние кривизны земной поверхности .....	78
4.1.3. Открытые пролеты .....	81
4.1.4. Полуоткрытые и закрытые пролеты .....	83
4.1.5. Учёт влияния атмосферы Земли .....	86
4.2. Расчет мощности сигнала на входе приемника РРС ..	90
4.2.1. Расчёт мощности сигнала на входе приёмника на открытых пролеты с большим перепадом высот мест установки антенн .....	92
4.3. Расчет минимально-допустимого множителя ослабления .....	93
4.3.1. Минимально-допустимый множитель ослабления в условиях общих («плоских») замираний .....	93
4.3.2. Минимально-допустимый множитель ослабления с учетом влияния селективности замираний .....	101
4.4. Расчет устойчивости работы ЦРРЛ при одинарном приеме .....	109
4.4.1. Общие соотношения .....	109
4.4.2. Расчет устойчивости работы пролета ЦРРЛ при одинарном приеме .....	111
4.4.2.1. Расчет суммарной неустойчивости пролета ....	111
4.4.2.2. Учёт состояния готовности и неготовности пролета .....	113
4.4.2.3. Расчёт составляющей, обусловленной влиянием интерференционных замираний .....	117
4.4.2.4. Расчёт составляющей, обусловленной влиянием субрефракции .....	122
4.5. Учет эффективности разнесенного приема .....	131
4.5.1. Пространственно-разнесенный прием .....	131
4.5.2. Частотно-разнесенный прием .....	135
4.5.3. Учет влияния внутрисистемных помех .....	139

4.5.4. Определение высот подвеса антенн .....	143
4.5.4.1. Выбор просветов на пересеченных пролетах ЦРРЛ .....	144
4.5.4.2. Выбор просветов на слабопересеченных пролетах ЦРРЛ .....	147
4.6. Расчёт устойчивости работы ЦРРЛ в диапазонах частот выше 8 ГГц .....	148
4.6.1. Затухание сигнала в гидрометеорах .....	148
4.6.2. Затухание сигнала в газах тропосферы на частотах выше 10 ГГц .....	154
4.6.3. Расчёт устойчивости работы ЦРРЛ в диапазоне частот выше 8 ГГц .....	156
4.6.4. Алгоритм расчёта времени неустойчивости работы РРЛ из-за влияния дождей и атмосферных газов .....	164
4.7. Особенности расчета устойчивости работы ЦРРЛ, проходящих в горной местности .....	165
4.8. Алгоритм расчёта времени неустойчивости работы участка резервирования и всей ЦРРЛ .....	168
Контрольные вопросы .....	170
Литература .....	170
<b>5. Обеспечение межсистемной ЭМС ЦРРЛ .....</b>	<b>172</b>
5.1. Учёт влияния межсистемных мешающих сигналов ...	172
5.1.1. Общая характеристика электромагнитной обстановки, относящейся к ЦРРЛ .....	172
5.1.2. Причины возникновения и структура межсистемных МС, воздействующих на ЦРРЛ .....	174
5.1.3. Определение допустимых значений показателей ЭМС для проектируемой ЦРРЛ .....	177
5.2. Методика анализа межсистемной ЭМС ЦРРЛ с другими СРС .....	180
5.2.1. Общие положения методики .....	180
5.2.2. Этапы анализа межсистемной ЭМС ЦРРЛ .....	187
5.3. Методы расчета потерь распространения МС .....	191
5.3.1. Классификация зон и трасс распространения МС ..	191
5.3.2. Расчет потерь распространения МС на открытых трассах .....	195
5.3.3. Расчет потерь распространения МС на полужакрытых трассах .....	197
5.3.4. Расчет потерь распространения МС на закрытых трассах .....	203
5.3.5. Расчет потерь МС из-за экранирования местными препятствиями в точках передачи и приема .....	210
5.3.6. Расчет потерь распространения МС из-за рассеяния дождем .....	212

5.4. Алгоритм анализа межсистемной ЭМС ЦРРЛ .....	220
5.5. Примеры расчета .....	223
Контрольные вопросы .....	244
Литература .....	245
<b>6. Проектирование ЦРРЛ при помощи программного комплекса .....</b>	<b>246</b>
6.1. Программный модуль ProfEdit 3.0 .....	247
6.1.1. Назначение и основные возможности .....	247
6.1.2. Установка .....	248
6.1.3. Первоначальный запуск и установка основных параметров ProfEdit 3.0 .....	249
6.1.4. Построение, редактирование, просмотр и сохранение продольного профиля полёта РРЛ .....	251
6.2. Программный модуль для расчета качественных показателей цифровых радиорелейных линий DRRL 5.1 ..	256
6.2.1. Назначение .....	256
6.2.2. Системные требования, установка и запуск .....	256
6.2.3. Работа с программным модулем DRRL .....	257
6.2.4. Рекомендации по пространственному разнесу антенн .....	276
6.2.5. Расчет дифракционного ослабления .....	280
6.3. Примеры расчетов качественных показателей РРЛ ..	287
Литература .....	292
Список сокращений .....	293
Список обозначений .....	296
Приложение 1 .....	309
Приложение 2 .....	315
Приложение 3 .....	320
Приложение 4 .....	325