

**О. П. Фролов  
В. П. Вальд**

# **Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи**

Москва  
Горячая линия - Телеком  
2008

УДК 621.396.67  
ББК 32.845  
Ф91

**Фролов О. П., Вальд В. П.**

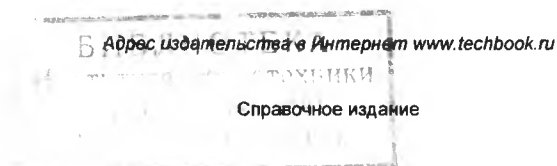
**Ф91** Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. – М.: Горячая линия–Телеком, 2008. – 496 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0002-8.**

Изложены основные вопросы по проблематике зеркальных антенн для земных станций спутниковой связи (ЗССС): взаимосвязь параметров антенн и параметров систем спутниковой связи, методы расчетов зеркальных антенн, практически исчерпывающая информация об облучателях антенн, вопросы влияния конструктивных элементов антенны на ее характеристики излучения, оценка характеристик излучения зеркальных антенн в ближней зоне, методы измерения параметров антенн для ЗССС.

Для специалистов по спутниковой связи и антенной технике, может быть полезна студентам и аспирантам, специализирующимся в области антенной техники.

**ББК 32.845**



**Фролов Олег Павлович, Вальд Валерий Павлович**

**ЗЕРКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ  
ДЛЯ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

Редактор Ю. Н. Чернышов  
Обложка художника В. Г. Ситникова  
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышов

Подписано в печать 28.06.07. Формат 60×90/16. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 31.

Тираж 1000 экз. (1-й завод — 500 экз.). Изд. № 802. Заказ № 9074.

ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия — Телеком»

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»

«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова».

214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.

**ISBN 978-5-9912-0002-8**

© О. П. Фролов, В. П. Вальд, 2008

© Оформление издательства  
«Горячая линия–Телеком», 2008

# Оглавление

Предисловие .....	3
<b>Глава 1. Параметры зеркальных антенн ЗССС .....</b>	<b>5</b>
1.1. О связи параметров антенн и параметров ЗССС .....	5
1.1.1. Диаграммы направленности .....	5
1.1.2. Усиление антенн ЗССС .....	16
1.1.3. Кроссполяризация развязка .....	17
1.1.4. Согласование .....	20
1.1.5. Потери при наведении .....	21
1.2. Требования к антенным системам .....	22
1.2.1. Российские требования к параметрам антенн .....	22
1.3. О процедурах проверки соответствия параметров антенн требованиям нормирующих документов .....	24
1.3.1. О декларировании соответствия средств связи .....	24
1.3.2. Форма декларации .....	25
1.3.3. Что такое «Type Approval»? .....	28
Список литературы к главе 1 .....	30
<b>Глава 2. Однозеркальные антенны .....</b>	<b>32</b>
2.1. Осесимметричные однозеркальные антенны .....	33
2.1.1. Основные сведения .....	33
2.1.2. Усиление антенны .....	35
2.1.3. Диаграмма направленности антенн .....	42
2.1.4. Коэффициент отражения .....	56
2.1.5. Кроссполяризованное излучение .....	59
2.2. Однозеркальные антенны типа офсет .....	65
2.2.1. Сравнение однозеркальных осесимметричных антенн и антенн типа офсет .....	66
2.2.2. Усиление антенн типа офсет .....	68
2.2.3. Диаграммы направленности .....	71
2.2.4. Кроссполяризованное излучение .....	74
2.3. Однозеркальные сферические антенны .....	82
2.3.1. Распределение поля в фокальной области однозеркальных сферических антенн .....	82
2.3.2. Однозеркальные сферические антенны с линейным облучателем .....	84
2.4. Однозеркальные тороидально-параболические антенны .....	87
Список литературы к главе 2 .....	91
<b>Глава 3. Двухзеркальные антенны .....</b>	<b>94</b>
3.1. Двухзеркальные осесимметричные антенны .....	96

3.1.1. Классические схемы осесимметричных двухзеркальных антенн	96
3.1.2. Параметры осесимметричных двухзеркальных антенн	102
3.1.3. Осесимметричные двухзеркальные антенны с модифицированными поверхностями	115
3.1.4. Способы крепления контррефлектора	124
3.2. Двухзеркальные офсетные антенны	131
3.2.1. Классические схемы двухзеркальных офсетных антенн	131
3.2.2. Двухзеркальные офсетные антенны с модифицированными поверхностями	136
3.3. Двухзеркальные антенны с кольцевым фокусом	138
3.3.1. Первые схемы двухзеркальных антенн с кольцевым фокусом	138
3.3.2. Основные схемы двухзеркальных антенн с кольцевым фокусом	144
3.4. Другие схемы двухзеркальных антенн	152
3.4.1. Сферические двухзеркальные антенны	152
3.4.2. Конические двухзеркальные антенны	159
3.5. Многодиапазонные двухзеркальные антенны	161
3.5.1. Основные схемы построения многодиапазонных двухзеркальных антенн	151
3.5.2. Частотноселективные поверхности	166
Список литературы к главе 3	182
<b>Глава 4. Облучатели</b>	<b>187</b>
4.1. Требования к облучателям	187
4.1.1. Требования по амплитудным диаграммам	188
4.1.2. Требования по фазовым диаграммам	193
4.1.3. Требования по уровню кроссполаризационного излучения	195
4.1.4. Требования по уровню согласования	195
4.1.5. Требования к максимальным габаритным размерам облучателей	196
4.2. Облучатели в виде открытого конца круглого волновода	198
4.2.1. Облучатель в виде открытого конца гладкого круглого волновода	198
4.2.2. Облучатель в виде открытого конца гофрированного круглого волновода	204
4.2.3. Облучатели в виде ОККВ с гофрированной внешней поверхностью	205
4.2.4. Облучатели в виде открытого конца круглого волновода с гофрированными фланцами	208
4.2.5. Облучатели в виде открытого конца круглого волновода с дроссельными фланцами	211
4.3. Облучатели в виде «гладких» рупоров	212
4.3.1. Облучатель в виде пирамидального рупора	212
4.3.2. Облучатель в виде модифицированных пирамидальных рупоров	219
4.3.3. Облучатель в виде конических рупоров	225
4.3.4. Облучатель в виде конического рупора с криволинейной образующей	231
4.3.5. Облучатель в виде конических рупоров с изломом образующих	233

4.3.6. Облучатель в виде рупора со сложным профилем поперечного сечения .....	235
4.4. Облучатели в виде гофрированных рупоров .....	237
4.4.1. Облучатель в виде широкоугольных гофрированных рупоров ..	237
4.4.2. Облучатель в виде гофрированных рупоров с малыми углами раскрыва .....	240
4.4.3. Конверторы мод .....	244
4.4.4. Гофрированные рупоры с конверторами мод .....	252
4.4.5. Гофрированные рупоры .....	263
4.5. Облучатели в виде многомодовых рупоров .....	271
4.5.1. Многомодовый облучатель на базе гладкого рупора .....	272
4.5.2. Многомодовый облучатель на базе гофрированного рупора .....	277
4.6. Рупорные облучатели с диэлектрическими вставками .....	279
4.6.1. Диэлектрические укрытия облучателей .....	279
4.6.2. Облучатели с диэлектрической линзой в раскрыве .....	282
4.6.3. Облучатель с диэлектрическими элементами .....	291
4.7. Широкополосные облучатели .....	295
4.8. Облучатели для неосесимметричных однозеркальных антенн .....	302
4.9. Другие варианты исполнения облучателей .....	309
Список литературы к главе 4 .....	326
<b>Глава 5. Влияние конструктивных элементов антенны на параметры излучения .....</b>	<b>332</b>
5.1. Влияние опор .....	332
5.1.1. Характеристики переизлучения цилиндрических конструкций, размещенных в поле плоской волны .....	334
5.1.2. Теневое поле наклонных опорных конструкций .....	346
5.1.3. Конусы переизлучения наклонных опорных конструкций .....	350
5.1.4. Экспериментальные данные .....	352
5.1.5. Снижение влияния опорных конструкций .....	354
5.2. Влияние продольного затенения апертуры антенны .....	357
5.3. Влияние погрешностей изготовления отражающих поверхностей .....	359
5.3.1. Влияние статистических погрешностей изготовления отражающих поверхностей .....	359
5.3.2. Влияние регулярных погрешностей изготовления отражающих поверхностей .....	367
5.3.3. Снижение влияния погрешностей выполнения отражающих поверхностей антенны на ее характеристики излучения .....	373
Список литературы к главе 5 .....	379
<b>Глава 6. Антенно-волноводные тракты .....</b>	<b>382</b>
6.1. Волноводы .....	382
6.1.1. Вводные сведения .....	382
6.1.2. Круглые волноводы .....	387

6.1.3. Прямоугольные волноводы .....	389
6.1.4. Эллиптические волноводы .....	391
6.2. Поляризаторы .....	397
6.2.1. Поляризаторы на базе прямоугольных волноводов .....	397
6.2.2. Поляризаторы на базе круглых волноводов .....	403
6.3. Комбайнеры .....	406
6.3.1. Поляризационные селекторы .....	407
6.3.2. Волноводные тройники .....	408
6.3.3. Выполнение комбайнера в виде отдельного блока .....	409
6.3.4. Выполнение комбайнера в виде устройств, совмещенных с рупорным облучателем .....	410
6.3.5. Развязка между портами приема и передачи .....	411
6.3.6. Кроссполяризационная развязка .....	412
6.3.7. Комбайнеры для двухканальных совмещенных облучателей коаксиального типа .....	412
6.4. Дегидраторы .....	417
6.4.1. Назначение и принципы действия дегидраторов .....	417
6.4.2. Типовые требования к дегидраторам .....	418
6.4.3. Взаимосвязь параметров дегидратора с параметрами волноводного тракта .....	420
6.4.4. Конструктивное оформление дегидраторов .....	422
Список литературы к главе 6 .....	423
<b>Глава 7. Измерение параметров антенн для ЗССС .....</b>	<b>425</b>
7.1. Измерение диаграмм направленности антенн для ЗССС .....	425
7.1.1. Факторы, влияющие на точность измерения ДН .....	426
7.1.2. Методики измерения ДН .....	429
7.2. Измерение усиления антенн для ЗССС .....	441
7.2.1. Измерение усиления на антенном полигоне .....	441
7.2.2. Измерение усиления антенн с помощью бортового ретранслятора .....	449
7.3. Антенные полигоны .....	451
7.3.1. Минимальная длина трассы антенного полигона .....	451
7.3.2. Факторы, снижающие точность измерения на антенных полигонах .....	454
7.4. Измерение добротности антенн для ЗССС .....	458
7.4.1. Методика измерения шумовой температуры антенны .....	458
7.4.2. Методики измерения добротности с помощью бортового ретранслятора .....	460
7.4.3. Методики измерения добротности с помощью радиозвезд .....	460
7.5. Измерение параметров облучающих устройств .....	463
7.5.1. Измерение КСВ или коэффициента отражения .....	463
7.5.2. Измерение развязки между портами .....	466
7.5.3. Измерение аксиального отношения .....	466
7.5.4. Измерение амплитудных ДН .....	467
7.5.5. Измерение фазовых ДН .....	467

7.6. Типовые методики сертификационных испытаний ЗССС в части антенных систем .....	469
Список литературы к главе 7 .....	475
<b>Глава 8. Ближняя зона излучения .....</b>	<b>477</b>
8.1. Поле излучения в ближней зоны круглого раскрыва (апертурный метод) .....	477
8.1.1. Расчетные соотношения .....	477
8.1.2. Результаты расчетов и экспериментов .....	479
8.2. Поле излучения в ближней зоне осесимметричной параболической антенны (метод ГТД) .....	484
8.3. Поле излучения в ближней зоне раскрыва эллиптической формы (апертурный метод) .....	485
8.4. Форма для огибающей ДН излучения в сверхближней зоне .....	486
8.4.1. Вывод расчетного соотношения .....	486
8.4.2. Обсуждение полученного результата .....	488
8.5. О дальней зоне излучения зеркальных антенн .....	489
Список литературы к главе 8 .....	491