

Дерек Стивенсон

# СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

*В ВАШЕМ ДОМЕ*



Обзор современных  
систем  
спутникового ТВ

Установка,  
настройка  
и подключение

Ремонт  
спутникового  
оборудования

**УДК 621.397.444**

**ББК 32.947**

**С80**

**Стивенсон Д.**

**С80** Спутниковое телевидение в вашем доме: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 432 с.: ил.

**ISBN 978-5-94074-507-5**

Данная книга является одновременно и руководством, и своего рода энциклопедией по всему кругу вопросов, касающихся спутникового телевидения.

Наряду с теоретическими основами, разъяснением основных понятий и терминов, применяющихся в спутниковом ТВ, в книге приводятся многочисленные практические советы. Подробно рассмотрены системы и стандарты ТВ. Представлены основные соотношения и формулы для вычислений необходимых параметров, расчет ведется последовательно на конкретных примерах. Даны подробные описания измерительной и приемной аппаратуры, антенных устройств, а также разъяснения принципов их работы с приведением структурных схем. В приложениях представлен обширный справочный материал: глоссарий используемых терминов, информация по программному обеспечению, которое может быть использовано для расчетов линии связи и получения сведений по различным аспектам спутникового приема, а также таблицы с параметрами спутниковых каналов.

Книга рассчитана как на читателя, не имеющего специальных знаний в данной области, но интересующегося вопросами спутникового приема, так и для технических специалистов, занимающихся разработкой или обслуживанием систем спутникового ТВ.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 0-7506-3475-8 (англ.)

ISBN 978-5-94074-507-5 (рус.)

© Guide to Satellite TV by Derek J. Stephenson Reed Educational & Professional Publishing LTD

© Перевод на русский язык, оформление. ДМК Пресс, 2010

# СОДЕРЖАНИЕ

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Предисловие</b> .....   | 16 |
| <b>Глава 1. Обзор спутникового ТВ</b> .....                                  | 18 |
| <b>Основные термины и понятия</b> .....                                      | 19 |
| Синусоидальные электромагнитные волны .....                                  | 19 |
| Синусоидальная волна .....   | 19 |
| Угловая скорость .....   | 20 |
| Длина волны .....  | 21 |
| Несущая частота .....  | 21 |
| Амплитудная модуляция .....  | 22 |
| Коэффициент модуляции .....  | 23 |
| Боковые полосы частот .....  | 23 |
| Частотная модуляция .....  | 24 |
| Девияция частоты .....   | 25 |
| Индекс модуляции .....   | 25 |
| Шумы Джонсона .....  | 25 |
| Отношение сигнал/шум .....   | 26 |
| Сравнение ЧМ и АМ .....  | 26 |
| Децибелы .....   | 27 |
| Напряжение, выраженное в децибелах .....                                     | 29 |
| <b>Спутниковое ТВ Ku-диапазона</b> .....                                     | 29 |
| Пояс Кларка .....  | 29 |
| Линия связи вверх .....  | 29 |
| Линия связи вниз .....   | 30 |
| Микроволны и место приема сигналов .....                                     | 32 |
| Антенна .....  | 32 |
| Антенные подвески .....  | 33 |
| Рупорный облучатель .....  | 34 |
| Поляризация .....  | 34 |
| Поляризаторы .....   | 36 |
| Малозумящий блок .....   | 37 |
| Спутниковые приемники .....  | 37 |
| Эффективная изотропно-излучаемая мощность<br>и карты зоны обслуживания ..... | 37 |
| Потери при прохождении сигнала в свободном пространстве .....                | 39 |
| Ослабление в дожде .....   | 40 |
| Шумы и их воздействие .....  | 40 |
| Распределение частот на линии связи вниз .....                               | 41 |
| Цифровое ТВ вещание .....  | 41 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Глава 2. Антенны</b> .....                           | 43 |
| Параболические рефлекторы .....                         | 44 |
| Коэффициент усиления параболического рефлектора .....   | 45 |
| Факторы, оказывающие влияние на работу антенны .....    | 46 |
| Лепестки диаграммы направленности и ширина луча .....   | 47 |
| Эффективность антенны .....                             | 50 |
| Шумы антенны .....                                      | 51 |
| Облучение, шумы и отношение $f/D$ .....                 | 52 |
| Прямофокусные антенны .....                             | 54 |
| Антенны со смещенным фокусом .....                      | 54 |
| Антенна Кассегрена .....                                | 54 |
| Антенна Грегори .....                                   | 57 |
| Антенна с отражателем .....                             | 57 |
| Плоская антенна .....                                   | 58 |
| Двусторонние зеркальные антенны .....                   | 59 |
| Линзы .....   | 59 |
| Антенные решетки S-диапазона типа «волновой канал» .... | 61 |
| Нацеливание антенн электронным способом .....           | 63 |
| Антенные подвески .....                                 | 63 |
| Фиксированные антенные подвески AZ/EL .....             | 63 |
| Модифицированная полярная антенная подвеска .....       | 64 |
| Антенные подвески типа «горизонт–горизонт» .....        | 70 |
| Роботизированные антенные подвески AZ/EL .....          | 71 |
| Моторизованные позиционные системы .....                | 71 |
| Антенны с несколькими облучателями .....                | 73 |
| Технология изготовления антенны .....                   | 76 |
| Раскатка .....  | 76 |
| Штамповка .....   | 76 |
| Впрессовка фольги в стекловолокно .....                 | 76 |
| Окрашивание .....                                       | 76 |
| Покрытие .....  | 77 |
| Визуальное воздействие антенн .....                     | 77 |
| Стеклянные антенные рефлекторы .....                    | 77 |
| Сетчатые антенные рефлекторы .....                      | 78 |

|   |            |
|---|------------|
| Нарушения радиосвязи под воздействием<br>солнечного излучения .....                                   | 78         |
| <b>Глава 3. Головки облучателей, кабели, линейные<br/>усилители и соединительные устройства .....</b> | <b>80</b>  |
| <b>Головки облучателей .....</b>  | <b>80</b>  |
| Зачем нужны рупорные облучатели и блоки LNB .....   | 80         |
| <b>Основные принципы работы волновода .....</b>   | <b>82</b>  |
| Прямоугольные волноводы .....   | 82         |
| Сопrotивление волновода .....   | 85         |
| Рупорный облучатель антенны .....   | 87         |
| Круглые волноводы .....   | 87         |
| Компоненты волновода .....  | 88         |
| <b>Облучатели .....</b>   | <b>91</b>  |
| Скалярные кольца .....  | 92         |
| Смещенные облучатели .....  | 93         |
| Диэлектрические антенные облучатели .....   | 93         |
| Отклонение главного лепестка .....  | 95         |
| <b>Поляризация .....</b>  | <b>96</b>  |
| Линейные поляризаторы .....   | 96         |
| Круговые поляризаторы .....   | 97         |
| <b>Отклонение поляризации .....</b>   | <b>98</b>  |
| <b>Малозумящий блок .....</b>   | <b>99</b>  |
| Малозумящие усилители .....   | 101        |
| Коэффициент шума и шумовая температура .....  | 102        |
| Блок понижающих преобразователей частоты .....  | 103        |
| <b>Универсальные блоки LNB .....</b>  | <b>104</b> |
| <b>Фазовый шум гетеродина .....</b>   | <b>105</b> |
| <b>Кабели .....</b>   | <b>107</b> |
| <b>Соединители .....</b>  | <b>108</b> |
| Затухание кабеля и линейные усилители .....   | 109        |
| <b>Линии передачи сигнала .....</b>   | <b>112</b> |
| Характеристическое сопротивление .....  | 112        |
| Коэффициент отражения .....   | 113        |
| Узлы и пучности .....   | 113        |
| Коэффициент стоячей волны .....   | 114        |
| Коаксиальный кабель .....   | 115        |

|   |            |
|---|------------|
| Параллельные двухпроводные линии передачи .....                             | 117        |
| Четвертьволновые штыри .....  | 117        |
| Линии передачи как реактивные элементы .....                                | 118        |
| <b>Глава 4. Спутниковые приемники.</b>                                      |            |
| <b>Кодирование сигнала .....</b>  | <b>119</b> |
| <b>Используемые термины и сокращения .....</b>                              | <b>119</b> |
| <b>Приемники системы DVB .....</b>  | <b>121</b> |
| ВЧ – тюнер/демодулятор .....  | 123        |
| Блок индикации .....  | 124        |
| Блок питания .....  | 126        |
| Микропроцессор .....  | 127        |
| Стандартный разъем типа SCART .....   | 130        |
| Стандартное AV-подсоединение выводов разъема SCART .....                    | 130        |
| ВЧ модулятор .....  | 131        |
| Слот для установки смарт-карты или CAM модуля .....                         | 132        |
| <b>Кодирование сигнала .....</b>  | <b>132</b> |
| Необходимость защиты .....  | 134        |
| Основные принципы кодирования .....   | 135        |
| <b>Просмотр закодированных каналов.</b>                                     |            |
| <b>Смарт-карты и модули .....</b>   | <b>136</b> |
| <b>Глава 5. Расчет линии связи .....</b>                                    | <b>139</b> |
| <b>Средства для вычислений .....</b>  | <b>141</b> |
| <b>Подробный расчет линии связи .....</b>                                   | <b>142</b> |
| Факторы, влияющие на прием сигнала со спутника .....                        | 143        |
| Расположение места приема по отношению к позиции спутника .....             | 144        |
| Магнитный азимут .....  | 146        |
| Протяженность линии связи вниз .....  | 147        |
| Длина волны .....   | 147        |
| Потери при прохождении сигнала в свободном пространстве .....               | 147        |
| Коэффициент усиления антенны .....  | 148        |
| Общая шумовая температура приемной системы .....                            | 148        |
| Частичная проницаемость .....   | 149        |
| Доступность сигнала и рабочие запасы .....                                  | 156        |
| Возрастание шумов из-за выпадения осадков<br>и поглощения в атмосфере ..... | 157        |
| Номинальный коэффициент добротности .....                                   | 159        |
| Используемый коэффициент добротности .....                                  | 160        |

|   |     |
|---|-----|
| Вычисление потерь из-за неточного наведения антенны .....                           | 161 |
| Эффективная изотропно-излучаемая мощность .....                                     | 162 |
| Отношение несущая/шум .....   | 163 |
| Отношение сигнал/шум .....  | 164 |
| <b>Аналоговые ТВ системы</b> .....  | 166 |
| Полоса частот .....   | 167 |
| Девиация .....  | 168 |
| Вычисление ЧМ девиации .....  | 169 |
| Отношения $C/N$ , $S/N$ и порог демодулятора .....                                  | 170 |
| Внесение и коррекция предискажений .....  | 171 |
| Коэффициент взвешивания шумов .....   | 171 |
| <b>Расчет цифровой линии связи</b> .....  | 171 |
| <b>Пропускная способность канала связи</b><br><b>согласно теореме Шеннона</b> ..... | 172 |
| Эффективность кодирования .....   | 173 |
| Предварительная коррекция ошибок .....  | 174 |
| <b>Цифровая модуляция</b> .....   | 175 |
| <b>Модификации для системы DVB</b> .....  | 175 |
| <b>Краткая форма расчета линии связи при ясном небе</b> .....                       | 176 |
| Проведение обратных вычислений .....  | 178 |
| <b>Уровень ЭИИМ и диаметр антенны</b> .....   | 179 |
| <b>Значение ширины луча</b> .....   | 180 |
| Разнос спутников связи .....  | 181 |
| <b>Глава 6. Установка.</b>  |     |
| <b>Исследование места приема</b> .....  | 184 |
| <b>Координаты поиска спутника</b> .....   | 186 |
| <b>Магнитное склонение</b> .....  | 187 |
| <b>Карты топографической службы</b> .....   | 188 |
| <b>Исследование азимута</b> .....   | 189 |
| <b>Исследование угла места</b> .....  | 189 |
| <b>Специальные приборы для исследования места приема</b> ....                       | 193 |
| <b>Прием сигнала с одного спутника</b> .....  | 195 |
| Рабочие испытания .....   | 196 |
| <b>Прием сигналов с нескольких спутников</b> .....                                  | 197 |
| <b>Планировка места приема</b> .....  | 198 |

|  |            |
|--|------------|
| Усилители системы кабельного распределения сигналов ....                 | 198        |
| Разрешение на планировочные работы .....                                 | 199        |
| Защита от вандализма .....   | 199        |
| Совместимость с окружающей средой .....                                  | 200        |
| Структура кирпича .....  | 200        |
| <b>Глава 7. Установка.</b>   |            |
| <b>Монтаж антенны и разводка кабеля .....</b>                            | <b>202</b> |
| Страховка .....  | 202        |
| Состав бригады для проведения работ по установке .....                   | 202        |
| Отношения с заказчиком .....   | 203        |
| Гарантии .....   | 203        |
| <b>Основные инструменты и оборудование .....</b>                         | <b>203</b> |
| Лестницы .....   | 204        |
| Соблюдение мер безопасности при использовании лестниц .....              | 204        |
| Электрические дрели .....  | 205        |
| Электропневматические бурильные и комбинированные молотки .....          | 206        |
| Меры безопасности при проведении сверлильных работ .....                 | 206        |
| Сверла .....   | 207        |
| Дополнительные инструменты и материалы<br>для установочных работ .....   | 207        |
| <b>Монтаж антенны на стене .....</b>                                     | <b>208</b> |
| <b>Шурупы и пластиковые дюбели для стен .....</b>                        | <b>209</b> |
| Вытягивающие нагрузки и пластиковые дюбели .....                         | 210        |
| Поперечные нагрузки и пластиковые дюбельные крепления .....              | 212        |
| <b>Назначение спроектированных креплений .....</b>                       | <b>212</b> |
| <b>Расклинивающиеся анкеры .....</b>                                     | <b>215</b> |
| <b>Ниппельные анкеры .....</b>   | <b>217</b> |
| <b>Сборка антенн, устанавливаемых на стене .....</b>                     | <b>218</b> |
| <b>Отверстия для ввода кабеля .....</b>                                  | <b>218</b> |
| <b>Прокладка кабеля .....</b>  | <b>221</b> |
| <b>Когда стандартная установка антенны<br/>на стене невозможна .....</b> | <b>222</b> |
| <b>Низкопрофильные установки .....</b>                                   | <b>224</b> |
| <b>Установка антенн больших размеров .....</b>                           | <b>225</b> |



|   |            |
|---|------------|
| Заземление металлоконструкций .....   | 227        |
| Сборка антенны .....  | 227        |
| <b>Глава 8. Установка.</b>  |            |
| <b>Настройка антенны и подключение кабеля .....</b>                                   | <b>228</b> |
| <b>Контрольно-измерительная аппаратура .....</b>                                      | <b>228</b> |
| Компас и угломер .....  | 228        |
| Простые линейные измерители пикового уровня .....                                     | 229        |
| Широкополосные измерители уровня сигнала<br>с питанием от аккумулятора .....          | 231        |
| Анализаторы спектра .....   | 232        |
| Цифровые приборы .....  | 233        |
| Инструкция по работе с Satfinder .....  | 233        |
| <b>Центрирование облучателя .....</b>   | <b>235</b> |
| <b>Подсоединение наружного кабеля<br/>для фиксированных спутниковых систем .....</b>  | <b>235</b> |
| <b>Регулировка антенн<br/>с фиксированными подвесками AZ/EL .....</b>                 | <b>236</b> |
| Герметизирующие составы .....   | 237        |
| <b>Регулировка модифицированной полярной подвески .....</b>                           | <b>238</b> |
| Порядок регулировки модифицированной полярной подвески .....                          | 242        |
| <b>Универсальная программа расчета углов .....</b>                                    | <b>245</b> |
| <b>Глава 9. Установка.</b>  |            |
| <b>Проведение внутренних работ .....</b>  | <b>248</b> |
| <b>Подключение сигналов .....</b>   | <b>248</b> |
| <b>Конфигурация с использованием ВЧ модулятора .....</b>                              | <b>249</b> |
| Порядок выполнения соединения .....   | 250        |
| Подключение видеоманитофона .....   | 250        |
| Порядок выполнения соединения .....   | 251        |
| <b>Варианты подключений<br/>с использованием разъема SCART .....</b>                  | <b>252</b> |
| <b>Другой способ непосредственного подсоединения<br/>аудио- и видеосигналов .....</b> | <b>253</b> |
| <b>Усилители системы распределения сигналов .....</b>                                 | <b>257</b> |
| <b>Расширение возможностей дистанционного управления ....</b>                         | <b>257</b> |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Настройка систем, применяющихся в телевизорах и видеомагнитофонах</b> ..... | 261 |
| Предварительно установленная потенциометрическая настройка .....               | 261 |
| Настройка электронным сканированием .....                                      | 261 |
| Непосредственный ввод номера канала или синтезирование частоты .....           | 262 |
| <b>Регулировка ВЧ модулятора</b> .....   | 263 |
| <b>Настройка спутниковых приемников</b> .....                                  | 264 |
| <b>Глава 10. Ремонт спутникового оборудования</b> .....                        | 266 |
| <b>Признаки неисправностей</b> .....   | 268 |
| <b>Контрольно-измерительные приборы</b> .....                                  | 268 |
| Измеритель уровня сигнала .....  | 268 |
| Мультиметр .....   | 268 |
| Анализатор спектра .....   | 269 |
| Осциллограф .....  | 269 |
| <b>Проверка настройки и внутренних соединений</b> .....                        | 269 |
| <b>Визуальная проверка внешнего блока</b> .....                                | 270 |
| <b>Проверка частей и блоков системы</b> .....                                  | 270 |
| <b>Неисправности блока питания</b> .....                                       | 272 |
| <b>Импульсные источники питания</b> .....                                      | 273 |
| Принципы работы схемы .....  | 273 |
| Диоды, применяемые в источниках питания .....                                  | 276 |
| <b>Резисторы и конденсаторы, применяемые в блоках питания</b> .....            | 278 |
| Контактные соединения .....  | 279 |
| Управление режимами работы LNB: V/H и 22 КГц .....                             | 279 |
| <b>Цифровые схемы и схемы дистанционного управления</b> ....                   | 280 |
| <b>Глава 11. Системы цифрового спутникового ТВ</b> .....                       | 281 |
| <b>Необходимость сжатия информации</b> .....                                   | 281 |
| <b>Методы снижения скорости передачи информации</b> .....                      | 283 |
| Избыточность .....   | 283 |
| Теория информации .....  | 284 |
| Приемлемость изображения .....   | 285 |
| Аналого-цифровое преобразование .....  | 286 |
| Частота Найквиста-Котельникова .....   | 287 |
| Бинарное кодирование .....   | 288 |
| Кодирование источника изображения .....  | 289 |

|  |            |
|--|------------|
| Предварительная обработка .....  | 290        |
| Кодирование сокращением избыточности .....                                   | 290        |
| Внутрикадровое DCT-кодирование .....   | 291        |
| Пороговая обработка .....  | 293        |
| Квантование .....  | 293        |
| Блоки сканирования .....   | 294        |
| Структура кодов .....  | 295        |
| Межкадровое кодирование .....  | 296        |
| Адаптивное кодирование .....   | 296        |
| Декодирование .....  | 298        |
| <b>Методы цифровой модуляции .....</b>                                       | <b>299</b> |
| Сигналы бинарного сообщения .....  | 299        |
| Скорость передачи сигнала и скорость передачи данных .....                   | 300        |
| Цифровая частотная модуляция<br>или частотная фазовая манипуляция .....      | 300        |
| Цифровая фазовая модуляция или фазовая манипуляция .....                     | 301        |
| Относительная фазовая манипуляция .....                                      | 302        |
| Квадратурная фазовая манипуляция .....                                       | 303        |
| Методы модуляции 8-PSK и 16-PSK .....  | 306        |
| Квадратурная амплитудная модуляция .....                                     | 307        |
| Направления развития .....   | 308        |
| <b>Система DVB/MPEG-2 .....</b>  | <b>309</b> |
| Система DVB-S .....  | 310        |
| Система DVB-SI .....   | 311        |
| Стандарт MPEG-2 Audio .....  | 312        |
| Стандарт MPEG-2 Video .....  | 312        |
| <b>Система DirecTV .....</b>   | <b>314</b> |
| <b>Глава 12. Системы распределения<br/>спутниковых ПЧ сигналов .....</b>     | <b>317</b> |
| Технические термины .....  | 317        |
| Распределение ПЧ и многоканальное распределение .....                        | 319        |
| Методы распределения сигналов спутниковой ПЧ .....                           | 320        |
| Распределение сигналов одной поляризации .....                               | 322        |
| Распределение сигналов<br>с двумя направлениями поляризации .....            | 323        |
| Внешний блок .....   | 323        |
| Применение схемы соединений звездой<br>при использовании одного кабеля ..... | 324        |

|   |     |
|---|-----|
| Применение древовидной схемы соединений при использовании двух кабелей .....                      | 327 |
| <b>Оборудование и компоненты</b> .....  | 329 |
| Диплексеры спутниковой ПЧ/наземных ТВ сигналов .....  | 329 |
| Делители .....  | 330 |
| Переключатели V/H .....   | 330 |
| Мультисвитчи V/H .....  | 330 |
| Мультисвитчи для спутниковых и наземных сигналов .....  | 331 |
| Инжекторы питания .....   | 331 |
| Магистральные усилители спутниковой ПЧ .....  | 332 |
| Линейные усилители .....  | 332 |
| Ответвители .....   | 332 |
| Ответвители с переключением V/H .....   | 333 |
| Устройства сопряжения со схемой управления поляризатором .....                                    | 334 |
| Коаксиальные кабели .....   | 334 |
| Настенные абонентские розетки .....   | 334 |
| Устройства сдвига частоты каналов .....   | 335 |
| Спутниковые приемники .....   | 335 |
| Небольшие интегрированные системы .....   | 336 |
| Предварительная обработка сигнала спутниковой ПЧ .....  | 336 |
| <b>Проектирование простых систем</b> .....  | 337 |
| Проектирование, установка и безопасность .....  | 343 |
| Выбор размера антенны .....   | 344 |
| <b>Приложение 1. Глоссарий</b> .....  | 348 |
| <b>Приложение 2. Средства программного обеспечения</b> .....                                      | 364 |
| Программа Satmaster Pro для Windows .....   | 364 |
| Программа Satfinder .....   | 366 |
| Спутниковая энциклопедия .....  | 367 |
| <b>Приложение 3. Условия, определяющие геостационарную орбиту спутника</b> .....                  | 368 |
| <b>Приложение 4. Крепежные изделия (номера по каталогу для продукции компании Rawlplug)</b> ..... | 371 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Приложение 5. Список геостационарных спутников .....   | 375 |
| Приложение 6. Таблица значений углов азимута, места и поворота конвертора .....              | 378 |
| Приложение 7. Таблицы глобальных азимутов и углов места .....                                | 384 |
| Приложение 8. Таблицы значений AZ/EL для главных европейских городов и деловых центров ..... | 414 |
| Приложение 9. Полезные константы и эквиваленты .....   | 428 |
| Предметный указатель .....   | 429 |

## ГЛАВА 1. ОБЗОР СПУТНИКОВОГО ТВ

---

Хотя поначалу спутниковое ТВ и не было предназначено для непосредственного приема в бытовых условиях, подобная практика существует много лет. Все началось с того, что несколько энтузиастов, воспользовавшись элементарными знаниями по спутниковым приемным системам, стали просматривать программы, передаваемые для операторов кабельных систем через маломощные спутники основных телекоммуникаций. Необходимое для этого оборудование было импортным и, в основном, неевропейским. Громоздкие и неэстетичные устройства стоили недешево, а прием сигнала в условиях дождя или низкой облачности не отличался высоким качеством. Неудивительно, что это новшество не вызвало какого-либо интереса в обществе.

Сегодня огромные антенны Ku-диапазона уже не находят широкого применения. С тех пор как новые, более мощные спутники почти полностью заменили устаревшие модели, антенны размером свыше 1,5 м в Европе являются редкостью. Наибольшим спросом пользуются услуги спутниковых служб диапазона FSS, которые предоставляются на определенное время.

Операторы спутникового ТВ применяют различные методы для увеличения пропускной способности канала связи. Наиболее распространенным является пакетный подход, когда от двух до пяти спутников группируются на одном небольшом участке орбиты (например, спутники системы Astra). Другой метод предусматривает использование спутников, находящихся на разных участках орбиты, но направляющих свои сигналы на одну зону обслуживания (например,

спутники серии Eutelsat). Иногда операторы объединяют два подхода, как это происходит при совместном расположении спутников Hotbird в позиции 13°Е (восточной долготы).

Другой метод предусматривает использование спутников, находящихся на разных участках орбиты, но направляющих свои сигналы на одну зону обслуживания (например, спутники серии Eutelsat II). Иногда операторы объединяют оба подхода, как это происходит при совместном расположении спутников Eutelsat II F6 (Hotbird 1) и Hotbird 2 в позиции 13°Е (восточной долготы). Очевидно, что совместное расположение предпочтительнее одиночного, поскольку для приема сигналов от нескольких спутников требуется недорогая «тарелка» с фиксированной антенной подвеской.

## Основные термины и понятия

Для тех, кто является новичком в системах связи и незнаком с некоторыми терминами и понятиями, ниже помещен краткий подготовительный раздел, который содержит основные принципы, необходимые для понимания вопросов спутникового приема. Технически подготовленные специалисты могут при желании пропустить этот раздел.

## Синусоидальные электромагнитные волны

Все радио- и телевизионные сигналы состоят из электрических и магнитных волн, которые распространяются в свободном пространстве со скоростью света (примерно 186 000 миль в секунду, или  $3 \times 10^8$  м/с). Эти волны состоят, в свою очередь, из *электрических полей* (E), измеряемых в вольтах на метр, и *магнитных полей* (H), измеряемых в амперах на метр. Составляющие полей E и H всегда расположены под прямым углом друг к другу, а направление распространения волн – под прямым углом к обоим полям. По мере распространения в пространстве амплитуда волн изменяется синусоидально. На самом деле несинусоидальную электромагнитную волну создать невозможно. (Важность этого положения прояснится позже, когда будет обсуждаться тема модуляции.)

## Синусоидальная волна

Синусоидальная волна (см. рис. 1.1) характеризуется следующими основными параметрами:

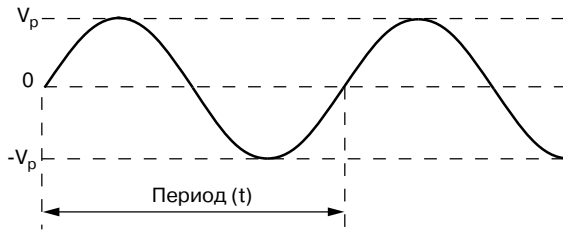
- *цикл* – одна полная электрическая последовательность;
- *пиковое значение* ( $V_p$ ) – максимальный положительный или отрицательный уровень, называемый также амплитудой;

- *период* ( $t$ ) – время одного полного цикла;
- *частота* ( $f$ ) – число циклов в секунду, которое измеряется в герцах (Гц). Один герц равен одному циклу в секунду. Из этого следует, что период и частота являются обратными величинами:

$$t = 1/f.$$

Для удобства часто используются следующие множители герц:

- килogerц (кГц) =  $10^3$  Гц = 1 000 Гц;
- мегагерц (МГц) =  $10^6$  Гц = 1 000 000 Гц;
- гигагерц (ГГц) =  $10^9$  Гц = 1 000 000 000 Гц;
- *действующее значение* (RMS) составляет 0,707 от пикового значения, и если не оговариваются другие условия, то при любой ссылке на напряжение или ток в технической литературе обычно имеется в виду эта величина. Например, напряжение питания в Великобритании имеет синусоидальную форму, значение напряжения установлено на уровне 240 В, поэтому пиковое значение составляет  $240/0,707 = 339$  В. Те же расчеты для России, где напряжение питания составляет 220 В, дают следующий результат:  $220/0,707 = 311$  В.



**Рис. 1.1.** Синусоидальная волна

## Угловая скорость

*Угловая скорость* ( $\omega$ ) – это косвенный способ выражения частоты:

$$\omega = 2\pi f \text{ рад/с.}$$

Вместо подсчета числа полных циклов угловая скорость показывает, насколько быстро изменяется векторный угол.

Выражение, характеризующее непрерывное (мгновенное) значение  $v$  синусоидальной волны в любой точке цикла, имеет следующий вид:

$$v = V_p \sin \theta,$$

где  $V_p$  – пиковое значение напряжения (амплитуда);  
 $\theta$  – угол, измеряемый в радианах (не в градусах).



Цикл составляет  $2\pi$  радиан, и, поскольку синусоидальная волна может быть визуально представлена как вектор вращения за цикл, выражение, приведенное выше, может быть записано в обозначениях частоты и угла:

$$v = V_p \sin 2\pi ft.$$

Для краткости  $2\pi f$  часто обозначают угловой скоростью  $\omega$ . Таким образом, выражение для синусоидальной волны будет иметь следующий вид:

$$v = V_p \sin \omega t.$$

### Длина волны

Поскольку электромагнитные волны распространяются с известной скоростью и изменяются синусоидально, можно рассчитать, насколько далеко волна, имеющая частоту  $f$ , распространится за один цикл. Обозначая скорость света буквой  $c$ , длину волны  $W^1$  можно выразить формулой:

$$W = c / f.$$

Отсюда следует, что чем выше частота, тем короче длина волны. В спутниковом ТВ вещании используются частоты порядка 10 ГГц. Тем не менее, длины волн исчисляются в сантиметрах, поэтому длина волны может быть вычислена следующим образом:

$$W = (3 \times 10^8) / (10 \times 10^9),$$

$$W = 3 \times 10^{-2} = 3 \text{ см.}$$

На практике используемые частоты не обязательно выражаются в круглых числах, например 10 ГГц. Тем не менее длины волн исчисляются в сантиметрах, фактически они и называются сантиметровыми. Возникает вопрос: почему такие высокие частоты используются в спутниковом вещании? Прежде чем ответить на него, необходимо понять некоторые фундаментальные законы, имеющие отношение к передаче информации, независимо от того, звуковая это информация или визуальная.

### Несущая частота

Предположим, что требуется передать звуковой сигнал частотой 1000 Гц. Теоретически электрический генератор и усилитель могут быть

<sup>1</sup> Обозначение  $W$  используется здесь в качестве примера. Обычно длина волны обозначается  $\lambda$ . – *Прим. науч. ред.*

собраны и настроены на 1000 циклов в секунду, а выход может быть подсоединен к куску провода, действующего в качестве примитивной антенны. К сожалению, чтобы получить приемлемую эффективность излучения, нужно иметь антенный провод, длина которого примерно равна длине волны  $W$ , соответствующей частоте 1000 Гц. Используя выражение, приведенное выше, получаем:

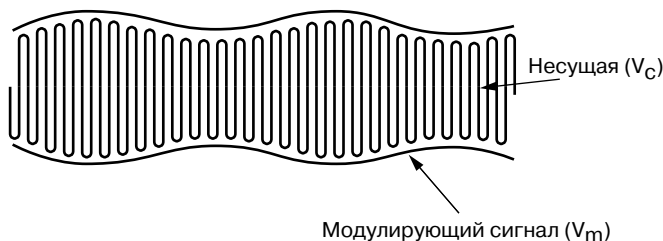
$$W = c/f = (3 \times 10^8) / (10^3) = 3 \times 10^5 \text{ м} = 300\,000 \text{ м}.$$

Помимо абсолютной фантастичности подобной антенны, волны на таких низких частотах подвержены сильному затуханию из-за поглощения земной поверхностью. Другой важной причиной для использования высоких частот является необходимость считаться с шириной полосы частот, о чем будет говориться позже.

Решение этой проблемы состоит в использовании волны высокой частоты для «переноса сигнала». А чтобы «передать информацию» (в данном случае 1000 Гц), следует изменить одну или несколько ее характеристик. Волна высокой частоты упоминается как несущая частота ( $f_c$ ) просто потому, что она «несет» информацию. Метод наложения этой информации низкой частоты на несущую частоту называется модуляцией. Существует два основных вида модуляции – амплитудная (АМ) и частотная (ЧМ).

### Амплитудная модуляция

Модулирующий сигнал низкой частоты (см. рис. 1.2) изменяет амплитуду несущей частоты в передатчике, прежде чем полный сигнал посылается на антенную систему. Если амплитуда модулирующего сигнала вызывает изменение амплитуды несущей между удвоенным значением ее немодулированного размаха и нулем, то говорится, что модуляция составляет 100%. Если амплитудная модуляция превышает 100%, происходит сильное искажение сигнала.



**Рис. 1.2.** Амплитудная модуляция

## Коэффициент модуляции

*Коэффициент модуляции* ( $m$ ) – это отношение амплитуды модуляции  $V_m$  к амплитуде несущей  $V_c$ :

$$m = V_m / V_c.$$

Когда  $m = 1$ , модуляция составляет 100%. Хотя такая модуляция имеет некоторые преимущества, применять ее на практике слишком опасно из-за возможной перемодуляции, поэтому величина модуляции в 80% ( $m = 0,8$ ) обычно рассматривается как граница безопасной работы.

## Боковые полосы частот

На рис. 1.2 модулирующий сигнал показан как сигнал простой синусоидальной формы, однако в действительности он бывает более сложным. Следовательно, и огибающая (форма) сигнала будет несинусоидальной. Но, как известно, через пространство могут передаваться только синусоидальные волны. Необходимо как-то объяснить возникшее противоречие, и немного школьной математики при этом не помешает.

Немодулированная несущая синусоидальной волны имеет следующую форму мгновенного значения:

$$v = V_p \sin \omega_c t.$$

Амплитуда этой волны  $V_p$  изменяется под воздействием модулирующей частоты, и в этом случае:

$$V_p = V_m \sin \omega_m t.$$

Подставив это выражение в первое уравнение, получим:

$$v = V_m \sin \omega_m t \sin \omega_c t.$$

Одним из общеизвестных тригонометрических тождеств является следующее:

$$\sin A \sin B = 1/2 \cos (A - B) - 1/2 \cos (A + B).$$

Таким образом, сигнал модулированной несущей разделяется в пространстве на три синусоидальные составляющие:

- несущая частота;
- частота, равная сумме несущей и модулирующей частот. Эта составляющая называется верхней боковой полосой;
- частота, равная разности несущей и модулирующей частот. Эта составляющая называется нижней боковой полосой.

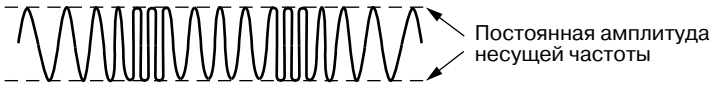
Например, если несущая частота равна 1 000 000 Гц, а модулирующая частота равна 1000 Гц, то верхняя боковая полоса будет иметь вид синусоидальной волны частотой 1 001 000 Гц, а нижняя – 999 000 Гц. В действительности модулирующая частота редко бывает такой простой формы, как синусоидальная волна частотой 1000 Гц. Более вероятно, что она будет состоять из речевой или визуальной информации, которая представляет собой сложную смесь различных частот. Однако это не лишает законной силы прежние рассуждения. Это только означает, что по обе стороны от несущей частоты вместо одной частоты верхней и нижней боковых полос будет в буквальном смысле полоса синусоидально изменяющихся частот. Например, частоты музыкального сигнала имеют диапазон от 20 Гц до 18 кГц. Тогда, чтобы передать звук высокого качества, верхняя боковая полоса должна содержать частоты, которые располагаются в диапазоне от 20 Гц до 18 кГц выше несущей частоты, а нижняя боковая полоса – частоты в диапазоне от 20 Гц до 18 кГц ниже несущей.

Передавать телевизионные сигналы сложнее, потому что изображения содержат намного больше информации, чем звук. Боковые полосы частот тянутся на несколько мегагерц по обе стороны от несущей частоты, и чем шире боковая полоса передаваемого сигнала, тем большее пространство он занимает в частотном спектре. Поэтому расположенные рядом вещательные станции должны работать на частотах, достаточно удаленных друг от друга, чтобы избежать интерференции (наложения сигналов) от соответствующих сигналов боковых полос. При этом частоты несущих должны постоянно повышаться, по мере того как конкурирующие станции осваивают новое пространство.

Решить проблему переполнения эфира можно разными способами. Например, не передавать обе боковые полосы, поскольку вся требуемая информация содержится в каждой из них, при условии, конечно, что одновременно передается несущая частота. Этот способ называется передачей с одной боковой полосой SSB. Есть и более радикальный метод: уменьшить амплитуду несущей частоты в передатчике почти до нуля и использовать ее для синхронизации местного генератора несущей на приемной стороне. Такой метод называется методом передачи одной боковой полосы с частично подавленной несущей.

### **Частотная модуляция**

В то время как амплитудная модуляция изменяет огибающую сигнала в «вертикальной плоскости», частотная модуляция (ЧМ) происходит в «горизонтальной плоскости» сигнала (см. рис. 1.3). Амплитуда несущей поддерживается постоянной, а частота изменяется пропорционально амплитуде модулирующего сигнала.



**Рис. 1.3.** Частотная модуляция

### Девиация частоты

Максимальная величина, на которую частота несущей возрастает или убывает под воздействием амплитуды модулирующего сигнала, называется *девиацией частоты*. Эта величина зависит исключительно от амплитуды (пикового значения) модулирующего напряжения. При спутниковом ТВ вещании сигнал, излучаемый на Землю, имеет номинальное значение девиации частоты около 16 МГц/В и ширину полосы частот, занимаемую информацией о передаваемом изображении, около 27 МГц.

### Индекс модуляции

*Индекс модуляции* ( $m$ ) – это отношение девиации частоты  $f_d$  к высшей модулирующей частоте  $f_m$ :

$$m = f_d / f_m.$$

В отличие от амплитудной модуляции при ЧМ нет необходимости ограничивать максимальную величину индекса модуляции единицей.

### Шумы Джонсона

Шум – это любое нежелательное случайное электрическое возмущение. Он проникает повсюду и является главной проблемой при разработке электроники. Такой шум возникает в обычных электрических цепях, особенно в цепях с резистором, при любых значениях температуры выше нуля по Кельвину (0 К). Этот мельчайший, но не всегда незначительный тепловой шум, называемый шумом Джонсона, обнаруживается (и может быть измерен как ЭДС) на выходных концах цепи. Причина шума – хаотические колебания молекул внутри корпуса резистора, которые невозможно прекратить. Хотя приведенное ниже выражение не является особенно важным в данном случае, его стоит рассмотреть, чтобы обнаружить связь между шумами ЭДС и температурой.

$$\text{RMS-значение шума Джонсона} = (4k tBR)^{1/2},$$

где  $t$  – абсолютная температура по Кельвину (комнатная температура составляет около 290 К);

$k$  – постоянная Больцмана =  $1,38 \times 10^{-23}$ ;

$R$  – величина резистора в омах;

$B$  – ширина полосы частот прибора для измерения величины ЭДС.

Расчет шума от резистора в один мегаом при комнатной температуре приводит к величине около 0,4 мВ. Она может показаться небольшой, но ее относительное значение более важно, чем абсолютное. Если полезный сигнал будет такого же порядка, как данная величина (а он может быть и намного меньше), то он потонет в шумах. Согласно рассматриваемому выражению, которое, кстати, распространяется не только на материалы искусственного происхождения, шум зависит от температуры и полосы частот прибора для измерения его величины. Таким прибором является станция приема телевидения. Боковые полосы частот при передаче сигнала высокого качества отличаются большой шириной, поэтому приемная аппаратура также должна иметь широкую полосу частот для обработки поступающей информации. В этих условиях попадание шумов на вход цепи может серьезно ограничить качество приема.

Кроме шумов Джонсона, существует много других видов шумов (включая шумы Земли и шумы искусственного происхождения), о которых говорится в следующих разделах книги.

### **Отношение сигнал/шум**

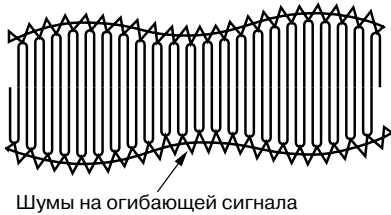
*Отношение сигнал/шум ( $S/N$ )* – это отношение уровня ЭДС полезного сигнала к уровню ЭДС любого существующего шума, которое должно быть как можно более высоким. Если величина этого отношения падает до единицы или ниже, то сигнал передавать практически бесполезно. (В некоторых случаях можно использовать довольно дорогостоящий метод воссоздания компьютером «сигнальной среды», но для национальной системы спутникового ТВ вещания это неприемлемо.)

### **Сравнение ЧМ и АМ**

Существуют два свойства АМ, из-за которых ее использование в прошлом было достаточно популярным:

- схема демодуляции в приемном устройстве, называемая выпрямителем, достаточно проста. Требуется только диод для отсеечения одной полуволны от полного сигнала и фильтр нижних частот для удаления остатков несущей частоты;
- ширина боковых полос относительно невелика, поэтому передача сигнала не занимает слишком много пространства в частотном спектре.

Самым серьезным недостатком АМ является шум (или, по крайней мере, большая его часть), который состоит из изменений амплитуды. Иными словами, любые существующие шумы ЭДС располагаются на вершине огибающей сигнала, как это показано на рис. 1.4. Поэтому для

**Рис. 1.4.** Шумы на АМ сигналах

уменьшения уровня шумов необходимо либо увеличить отношение сигнал/шум путем более тщательной разработки приемных устройств, либо использовать более грубые методы, ухудшающие качество сигнала, например ограничение полосы пропускания.

С другой стороны, ЧМ часто считают свободной от шумов, что в действительности неправильно. Передача ЧМ сигнала также подвержена воздействию шумов, как и передача АМ сигнала. Однако благодаря методу, которым происходит наложение информации на несущую частоту, большая часть шумов может быть устранена схемой приемного устройства. Поскольку шумов располагаются на внешней стороне ЧМ сигнала, можно срезать края верхней и нижней частей принимаемого сигнала, не нарушая информации, которая, скорее всего, находится внутри сигнала, а не на его краях. Такой процесс отсечки называется ограничением амплитуды.

Недостатком ЧМ является требование широкой полосы частот для передачи сигнала. По сути, передача ЧМ сигнала возможна только в том случае, когда частота несущего сигнала относительно высока. Так как спутниковое вещание осуществляется на частотах значительно выше 1 ГГц, этот недостаток можно считать несущественным.

Нельзя отрицать, что схемные решения, которые требуются для извлечения информации с ЧМ несущей, являются, мягко говоря, достаточно сложными. Схема, выполняющая такую функцию, называется ЧМ демодулятором. Существуют различные схемные решения для демодуляции ЧМ сигналов, такие как дискриминаторы, детекторы отношения и схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Последнее решение используется наиболее часто, подробнее о нем будет рассказано в главе 4.

## Децибелы

С помощью децибелов (дБ) отношение между двумя мощностями можно выразить и другим, часто более удобным способом. Вместо фактического отношения используется логарифм отношения по основанию 10:

$$\text{дБ} = 10 \log P_1/P_2.$$

Результат будет с положительным знаком, если  $P_1$  больше, чем  $P_2$ , и с отрицательным, если  $P_1$  меньше, чем  $P_2$ . Чтобы исключить проблему, связанную с вычислением отрицательных логарифмов, большую из двух мощностей ставят в числитель, а знак определяют позже в соответствии с правилом, приведенным выше.

### Пример

Если  $P_1 = 1000$ , а  $P_2 = 10$ , то  $дБ = 10 \log 1000/10 = 10 \log 100 = +20$  дБ.

(Если  $P_1 = 10$ , а  $P_2 = 1000$ , абсолютное значение в децибелах будет тем же самым, но записывают его как  $-20$  дБ.)

Использование децибелов вместо фактических величин отношений имеет следующие преимущества:

- поскольку слух человека реагирует на изменения интенсивности звука логарифмически, использование децибелов является более естественным. Например, если выходная мощность усилителя звука возрастает с 10 до 100 Вт, на слух это не будет восприниматься как десятикратное увеличение;
- децибелы удобно использовать для уменьшения размеров в обозначениях больших чисел. Например, коэффициент усиления в 10 000 000 раз будет равен всего лишь 70 дБ;
- при прохождении от антенны через различные каскады в приемном устройстве сигнал подвергается усилению и потерям. При выражении каждого коэффициента усиления и потерь соответственно в положительных и отрицательных значениях децибелов общий коэффициент усиления легко рассчитать при помощи алгебраического сложения. Например,  $(+5) + (-2) + (+3) + (-0,5) = 5,5$  дБ.

Ниже приведены некоторые из наиболее часто используемых значений децибелов:

| Децибелы, дБ | Соответствующее увеличение мощности |
|--------------|-------------------------------------|
| 0,0          | 1,00                                |
| 0,5          | 1,12                                |
| 1,0          | 1,26                                |
| 2,0          | 1,58                                |
| 3,0          | 1,99                                |
| 6,0          | 3,98                                |
| 12,0         | 15,85                               |
| 15,0         | 31,62                               |
| 18,0         | 63,09                               |
| 21,0         | 125,89                              |
| 50,0         | 100 000                             |
| 100,0        | 10 000 000 000                      |



## Напряжение, выраженное в децибелах

Хотя децибелы чаще используют для выражения отношений мощностей, иногда в них удобно выразить отношение напряжений. В таком случае выражение будет иметь следующий вид:

$$\text{дБ} = 20 \log V_1/V_2.$$

В этом выражении используется цифра 20 вместо 10, так как мощность пропорциональна квадрату напряжения, поэтому постоянный коэффициент будет составлять не 10, а 20.

## Спутниковое ТВ Ку-диапазона

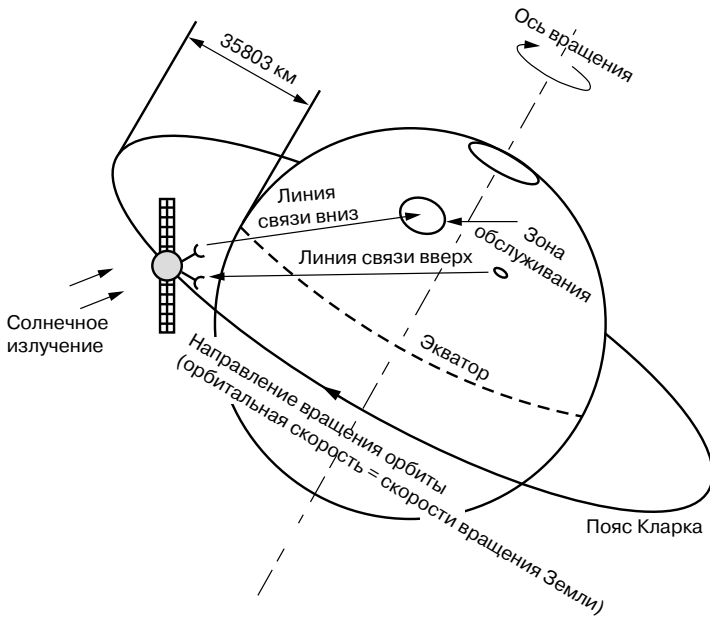
В европейских странах для передачи спутникового ТВ сигнала используется почти исключительно Ку-диапазон (10,95–14,5 ГГц). Соответственно, основное внимание в этой книге уделено приему сигналов в Ку-диапазоне.

## Пояс Кларка

Еще в 1945 году Артур Кларк, известный ученый и писатель-фантаст, предсказал, что искусственный спутник, размещенный на высоте 35 803 км прямо над экватором, будет вращаться вокруг земного шара с той же скоростью, с которой вращается Земля. В результате спутник останется неподвижным по отношению к любой точке земной поверхности. Этот экваториальный пояс называется *поясом Кларка*. Любой спутник, находящийся в пределах данного пояса, называется *геостационарным спутником* и размещается на участке, который называется дугой орбиты. Через линию связи сигналы посылаются вверх, по направлению к спутнику, обрабатываются электронным способом и затем ретранслируются через линию связи вниз, по направлению к наземным приемным станциям (см. рис. 1.5).

## Линия связи вверх

Станция линии связи вверх – это весьма сложное устройство, поскольку сигналы посылаются на различных частотах (обычно выше 14 ГГц), чтобы избежать интерференции с сигналами, которые, в свою очередь, посылаются по линии связи вниз. Другой функцией, которую выполняет станция линии связи вверх, является строгий контроль функций самого спутника (таких как точность удержания на орбите), хотя в данный момент эти технические подробности не особенно важны. Луч мощности передаваемого микроволнового сигнала должен быть как



**Рис. 1.5.** Пояс Кларка, линии связи вверх и вниз

можно более узким, чтобы исключить наложение сигналов от соседних спутников, находящихся на геостационарной орбите. Речь идет о мощности в несколько сот ватт.

### Линия связи вниз

На каждом спутнике находится некоторое число *транспондеров*, имеющих выходы на пары приемно-передающих антенн и соответствующие электронные устройства для каждого канала. Например, в Европе линия связи вверх посылает сигналы на частоте около 14 ГГц, они принимаются, конвертируются в более низкую частоту около 11–12 ГГц и усиливаются с помощью усилителей высокой мощности для ретрансляции на Землю. Для каждого канала используются отдельные транспондеры, которые питаются от солнечных панелей. Кроме того, спутники оборудуются батареями системы резервного питания, подключаемой во время солнечного затмения. Чем выше мощность каждого транспондера, тем меньше каналов можно передавать при заданном числе солнечных панелей, которое ограничено стоимостью и максимальной величиной полезной нагрузки запускаемых летательных аппаратов. Номинальное значение потребляемой мощности для

спутника класса ASTRA 1A составляет 2,31 кВт с ожидаемой продолжительностью срока службы 12,4 года.

Спутники разделяют по категориям мощностей в следующих диапазонах:

- спутники *низкой мощности* имеют транспондеры мощностью в пределах 20 Вт и предназначены главным образом для систем связи общего назначения. Благодаря низкой мощности передачи каждого транспондера они могут поддерживать много каналов с помощью аккумулированной солнечной энергии. Многие из этих транспондеров ретранслируют программы для операторов кабельного ТВ по всей Европе. К сожалению, для приема данного сигнала без помех требуются антенные тарелки, размер которых часто превышает один метр, что не вызывает энтузиазма у основной массы потребителей. В этой ситуации прием программ национального ТВ не является основным назначением спутников с каналами такой высокой емкости. Ширина полосы пропускания транспондеров может меняться;
- спутники *средней мощности* имеют номинальные значения мощностей транспондеров около 45 Вт, как, например, транспондер, находящийся на борту спутника ASTRA 1A. В настоящее время для приема сигналов с таких спутников, обычно называемых «*полу-СНВ*» (СНВ – система непосредственного ТВ вещания), предполагается использовать перспективные антенные тарелки диаметром 0,6 м, что, несомненно, более удобно для потребителей. К настоящему моменту насчитывается до шестнадцати транспондеров этого класса. Европейские спутники средней мощности в основном работают в диапазоне частот 10,95–11,7 ГГц и обслуживаются *фиксированной спутниковой службой* (FSS). Ширина полосы пропускания транспондеров обычно составляет 27 или 36 МГц. Кроме того, некоторые спутники средней мощности, такие как спутники серии Eutelsat II, имеют ряд транспондеров, которые могут действовать в диапазоне частот 12,5–12,75 ГГц, ранее выделенных Международным союзом электросвязи (ITU) для *службы коммерческого использования диапазона частот* (BBS);
- спутники *высокой мощности* системы *непосредственного ТВ вещания* (DBS) имеют транспондеры мощностью свыше 100 Вт и соответственно пониженную емкость канала связи, составляющую четыре-пять каналов. Установленный размер антенной тарелки является минимальным и находится в пределах 30–45 см для центральной зоны обслуживания. Возможно, это идеальный

размер для антенны, поскольку прогнозируется резкое повышение интереса к спутниковому ТВ, как только такие системы встанут на поток. Европейские транспондеры работают на частотах, находящихся в диапазоне 11,7–12,5 ГГц, который известен как диапазон работы системы DBS. Принятая ширина полосы транспондера составляет 27 МГц.

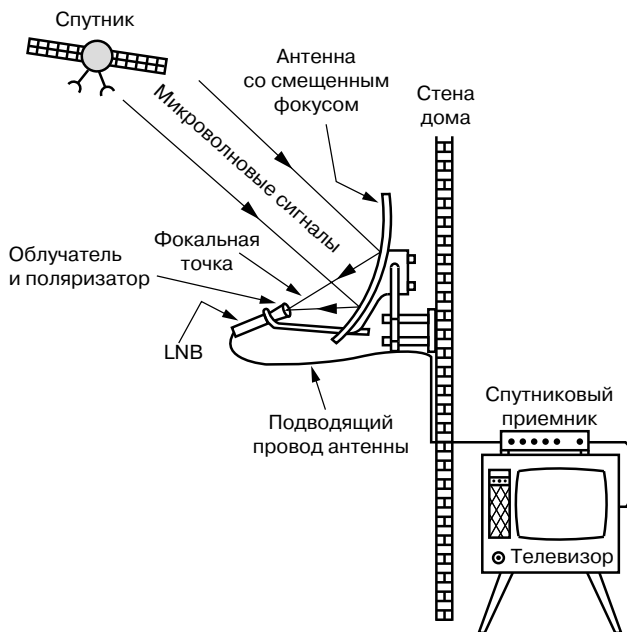
## Микроволны и место приема сигналов

Передача сигналов от спутника на Землю осуществляется посредством *микроволнового электромагнитного излучения*, которое по частоте намного выше, чем сигналы обычного телевидения в диапазонах МВ/ДМВ (VHF/UHF). Несмотря на волнообразную природу микроволны подвергаются сильному ослаблению из-за водяных испарений и других препятствий на линии прямой видимости антенны. Мощность передаваемого микроволнового сигнала ко времени достижения им Земли становится чрезвычайно слабой. Если не использовать специальное оборудование и не принимать соответствующие меры предосторожности при его установке, сигнал может быть подавлен окружающими его шумами. На месте приема *телевизионной приемной системы* (TVRO) устанавливается антенна, которая собирает и концентрирует сигнал в фокусе, где находится прецизионно установленный *облучатель*. Он направляет микроволны на электронный компонент, называемый *малощумящим блоком* (LNB). Этот блок усиливает и преобразует сигнал вниз на частоту, которая более удобна для передачи далее по кабелю на приемник (ресивер), расположенный внутри жилого помещения.

Между облучателем и LNB может быть расположен *поляризатор*, назначение которого будет объяснено чуть позже. Комплект, состоящий из облучателя, поляризатора и LNB, часто называют *головкой облучателя*. Типичная конфигурация линии связи вниз от спутника средней мощности до внутреннего помещения изображена на рис. 1.6.

## Антенна

Антенна, или тарелка, собирает чрезвычайно слабый микроволновый сигнал и осуществляет его фокусировку. Поверхность антенны должна иметь высокую отражающую способность по отношению к микроволнам. Антенна имеет форму *парабоида*, который обладает уникальным свойством переносить все излучение, падающее параллельно его оси, в фокус (см. рис. 1.6). Существует два основных типа антенн – параболическая (*прямофокусная*) и офсетная (антенна *со смещенным*



**Рис. 1.6.** Типичная конфигурация линии связи вниз

*фокусом*). В прямофокусной антенне датчик головки облучателя устанавливается в центре оси параболоида. При конфигурации со смещенным фокусом (см. рис. 1.6) головка облучателя устанавливается в фокальной точке параболоида значительно большего размера, а рассматриваемая тарелка представляет собой часть этого параболоида. Антенны обычно изготавливаются из стали, алюминия или оптоволоконного стекла с впрессованной отражающей фольгой. Подробнее об антеннах будет говориться в главе 2.

### Антенные подвески

Назначением антенной подвески является нацеливание антенны точно на выбранный спутник. Существуют два основных типа подвесок: *азимутально-угломестная подвеска (AZ/EL)*, которая имеет регулировки только по горизонтали и по вертикали, и *полярная подвеска*, которая позволяет антенной тарелке следить за всей видимой частью геостационарной орбиты, останавливаясь на любом выбранном спутнике.

Подвески типа AZ/EL используются в основном для фиксированного приема с одного спутника, хотя в определенных случаях возможен

прием с нескольких спутников, расположенных на небольшом угловом расстоянии друг от друга.

Полярные подвески обычно снабжены электроприводом и управляются дистанционно с помощью расположенного внутри помещения координатного регулятора. Они позволяют принимать сигналы большого числа спутников.

### Рупорный облучатель

Облучатель, расположенный в фокальной точке антенны, является прибором, который собирает сигналы, приходящие параллельно оси антенны и отраженные от ее поверхности. При этом он не воспринимает любые нежелательные сигналы или помехи, приходящие с других направлений. Облучатели тщательно разрабатываются и прецизионно устанавливаются, чтобы улавливать и направлять приходящий микроволновый сигнал на *резонансный* (согласованный) *зонд*, расположенный перед LNB. По существу, рупорный облучатель представляет собой *волновод*, известный со времен появления радиолокации в период второй мировой войны. Облучатели обычно состоят из прямоугольных или круглых трубок, соединенных крестообразно, и обладают двумя важными свойствами, которые определяются теорией волноводов. Во-первых, сигналы, имеющие большую длину волны, чем половина внутреннего размера волновода, резко ослабляются по мере прохождения по волноводу. Во-вторых, сигналы с длиной волны короче, чем волновод, создающий доминирующий режим, начинают быстро затухать. Таким образом, рупорный облучатель действует как полосовой фильтр. Для согласования сопротивлений воздушного пространства и волновода проделываются специальные выемки в рупоре облучателя. Более подробно о рупорных облучателях будет рассказано в главе 3.

### Поляризация

Современные методы поляризации классифицируются как линейные и круговые. Унифицируются они по следующим принципам:

- *линейная поляризация* – метод, расширяющий число каналов, которые могут занимать данную полосу частот, путем использования горизонтальной или вертикальной поляризации (поле E расположено соответственно горизонтально или вертикально по отношению к земле). Это удваивает число каналов, передаваемых одним спутником, поскольку два канала могут располагаться на одной частоте при условии, что они имеют противоположную поляризацию. По существу же, эти каналы разнесены, чтобы минимизировать