

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

***ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ ГИБРИДНЫХ СКТ
С ГЛУБОКИМ ПРОНИКНОВЕНИЕМ ОПТИКИ***

Методическое пособие по дисциплине
«Современные технологии систем и средств телекоммуникаций»
для студентов специальностей
1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»
и 1-45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения»
дневной и заочной форм обучения

Минск БГУИР 2012

УДК 621.397.743(076)
ББК 32.949я7
П76

Авторы:

В. Ю. Бунас, Ю. Б. Стункус, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов

Рецензент:

доцент кафедры сетей и устройств телекоммуникаций
учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
кандидат технических наук М. Ю. Хоменок

П76 Построение и расчет гибридных СКТ с глубоким проникновением оптики : метод. пособие по дисц. «Современные технологии систем и средств телекоммуникаций» для студ. спец. 1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций» и 1-45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» днев. и заоч. форм обуч. / В. Ю. Бунас [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – 55 с. : ил.
ISBN 978-985-488-706-7.

В пособии рассмотрены вопросы реализации гибридных оптико-коаксиальных систем кабельного телевидения, основные принципы их построения и проектирования, а также методы расчета параметров качества проектируемых систем кабельного телевидения.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям телекоммуникационного направления.

УДК 621.397.743(076)
ББК 32.949я7

ISBN 978-985-488-706-7

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ВОЛОКОННО- КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ	11
1.1 Выбор структуры построения ВОЛС кабельной распределительной сети.....	11
2 РАСЧЁТ ПРЯМОГО КАНАЛА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	18
2.1 Расчёт оптического бюджета мощности прямого канала	18
2.2 Выбор оптического приёмника	18
2.3 Расчет выходной мощности оптического передатчика	20
2.4 Критерии выбора оптических передатчиков	21
2.5 Расчет входного уровня сигнала в оптической системе.....	26
2.6 Расчет соотношения несущая/шум в оптическом тракте кабельной распределительной сети	27
2.7 Расчет искажений в оптических системах гибридных распределительных сетей	30
2.8 Расчет коаксиального кластера распределительной сети	34
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОБРАТНОГО КАНАЛА ГИБРИДНОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	37
3.1 Выбор топологии организации обратного канала.....	37
3.2 Определение полосы частот обратного канала	40
3.3 Возможные пути увеличения скорости в оптическом обратном канале ..	43
3.4 Расчетный выходной уровень абонентского кабельного модема	44
3.5 Расчет обратного канала	44
3.6 Расчет уровня сигнала в обратном канале	46
3.7 Расчет входного уровня сигнала на оптическом передатчике обратного канала	47
3.8 Определение индекса оптической модуляции в обратном канале.....	49
3.9 Расчет потерь в оптическом тракте обратного канала. Выбор оптических приемных и передающих модулей	49
3.10 Расчет интермодуляционных искажений в обратном канале коаксиального сегмента	50
3.11 Расчет отношения несущая/шум в обратном канале	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
ЛИТЕРАТУРА	53

СОКРАЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- АРМ** – автоматическая регулировка мощности;
АРУ – автоматическая регулировка усиления;
АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;
ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи;
ВЧ – высокочастотный;
ГВЗ – групповое время запаздывания;
ГС – головная станция;
ГСКМ – головная станция кабельных модемов;
ДК – диапазонный конвертер;
ДРС – домовая распределительная сеть;
ККМ – коллективный кабельный модем;
КМ – абонентский кабельный модем;
КРС – кабельная распределительная сеть;
РС – распределительная сеть;
ОВЧ ЧМ – очень высокие частоты с частотной модуляцией;
ОК – обратный канал;
ОП – оптический передатчик;
ОУ – оптический узел;
СКТ – система кабельного телевидения;
УД – домовый усилитель;
ASE – Amplifier Spontaneous Emission – усиленная спонтанная эмиссия;
CSO – Composite Second Order distortion – композитная интермодуляция второго порядка;
CTB – Composite Triple Beat distortion – композитная интермодуляция третьего порядка;
CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing – разреженное волновое (спектральное) мультиплексирование;
DWDM – Density Wavelength Division Multiplexing – плотное волновое (спектральное) мультиплексирование;
EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifier – оптический усилитель на волокне, легированном эрбием;
FTTx – Fiber To The x – доведение ТВ-сигнала оптическим волокном до точки «x»;
FTTB (Building) – оптическое волокно до здания (производственного или жилого многоквартирного);
FTTC (Curb) – оптическое волокно до распределительного шкафа (для обслуживания коаксиального кластера);
FTTH (Home) – оптическое волокно до жилого дома абонента;
HFC – Hybrid Fiber Coaxial – гибридная волоконно-коаксиальная распределительная сеть;
ОМІ – Optical Modulation Index – индекс оптической модуляции;

QPSK – Quadrature Phase-Shift Keying – формат модуляции, символы в котором могут иметь четыре различных значения фазы;

WDM – Wavelength Division Multiplexing – волновое (спектральное) мультиплексирование с разделением по длинам волн;

MMDS – Multichannel Multipoint Distribution Service – система многоканального многоточечного распределения радиосигналов.

Система кабельного телевидения – система, включающая в себя технические средства и кабельные линии связи, обеспечивающая услуги связи (телевидение, радиовещание, другие услуги электросвязи). Системы кабельного телевидения подразделяют на классы.

Распределительная сеть (кабельная распределительная сеть) – совокупность технических средств и устройств головной станции и линейной сети, обеспечивающих передачу радиосигналов в системе кабельного телевидения.

Головная станция – совокупность технических средств и устройств, обеспечивающих усиление, преобразование и формирование радиосигналов телевидения, радиовещания, обработку других радиосигналов, – часть кабельной распределительной сети. В соответствии с классом системы кабельного телевидения головные станции подразделяют на центральные, узловые и местные. Головная станция включена между выходами источников сигналов и входом линейной сети.

Центральная головная станция – головная станция региональной кабельной распределительной сети, включенная между выходами источников сигналов и входом волоконно-оптической транспортной сети.

Узловая головная станция – головная станция городской кабельной распределительной сети, включенная между выходом транспортной сети (выходами источников сигналов) и входом волоконно-оптической или коаксиальной магистральной сети.

Местная головная станция – головная станция местной (районной) кабельной распределительной сети, включенная между фидерами снижения приемных антенн (выходами источников сигналов) и входом магистральной (домовой) сети.

Линейная сеть – совокупность технических средств и устройств, волоконно-оптических и коаксиальных кабельных линий, обеспечивающих одностороннюю передачу радиосигналов телевидения и радиовещания между выходом головной станции и выходом абонентской розетки и двустороннюю передачу других радиосигналов в кабельной распределительной сети.

Транспортная сеть – совокупность технических средств, устройств и кабельных линий линейной сети между выходом центральной головной станции и входами узловых головных станций.

Магистральная сеть – совокупность технических средств, устройств и кабельных линий линейной сети между выходом узловой головной станции (местной головной станции) и домовыми вводами.

Домовая сеть – совокупность технических средств, устройств и кабельных линий линейной сети между домовым вводом и выходом абонентской розетки.

Абонентская сеть – совокупность технических средств, устройств и кабельных линий, обслуживающих одного абонента в пределах занимаемой им площади жилого или общественного здания.

Абонентская линия – элемент домовой сети между отводом абонентского ответвителя (выходом абонентского распределителя) и входом абонентской сети (абонентской розетки).

Абонентский кабель – коаксиальный кабель между выходом абонентской розетки и входом абонентского оборудования.

Абонентская розетка – элемент домовой сети, обеспечивающий подключение абонентского оборудования к абонентской сети или абонентской линии.

Делитель – элемент линейной сети, обеспечивающий деление энергии радиосигнала (оптического сигнала) на несколько направлений.

Ответвитель (сплиттер) – элемент линейной сети, обеспечивающий ответвление части энергии радиосигнала (оптического сигнала) на одно или несколько направлений.

Прямое направление – направление передачи радиосигналов в кабельной распределительной сети к абонентскому оборудованию.

Обратное направление – направление передачи радиосигналов в кабельной распределительной сети от абонентского оборудования.

Однонаправленная передача – распределение радиосигналов телевидения и радиовещания, других радиосигналов в кабельной распределительной сети в прямом направлении.

Двунаправленная передача – распределение радиосигналов телевидения и радиовещания в кабельной распределительной сети в прямом направлении и независимая одновременная передача других радиосигналов в прямом и обратном направлении.

Канальный конвертор – элемент головной станции, обеспечивающий преобразование по частоте радиосигнала основного канала приема в радиосигнал канала распределения.

Канальный усилитель – линейный усилитель, обеспечивающий усиление радиосигналов в полосе частот основного канала приема или канала распределения.

Диапазонный усилитель – линейный усилитель, обеспечивающий усиление радиосигналов в диапазоне частот телевидения или радиовещания.

Широкополосный усилитель – линейный усилитель, обеспечивающий усиление радиосигналов в полосе рабочих частот.

Оптический усилитель – элемент линейной сети, обеспечивающий усиление оптических сигналов без демодуляции и регенерации.

Корректор наклона амплитудно-частотной характеристики (эквалайзер) – элемент линейной сети, обеспечивающий компенсацию наклона ам-

плитудно-частотной характеристики линейной сети в полосе частот каналов распределения.

Сумматор – элемент кабельной распределительной сети, обеспечивающий сложение энергии радиосигналов (оптических сигналов) на общей нагрузке.

Кабельный модем – элемент системы кабельного телевидения, обеспечивающий цифровую модуляцию и модуляцию радиосигнала.

Канал распределения – радиоканал, в котором осуществляется односторонняя передача радиосигнала.

Канал обратного направления – радиоканал, в котором осуществляется передача радиосигнала в обратном направлении.

Смежные (соседние) каналы – радиоканалы, полосы частот которых имеют одну общую граничную частоту.

Специальные каналы – радиоканалы, разрешенные к использованию в кабельной распределительной сети вне стандартных диапазонов частот вещательного телевидения.

Затухание (a) – отношение мощностей (P) или напряжений (U) радиосигнала (оптического сигнала) на входе $P_1(U_1)$ или выходе $P_2(U_2)$ распределительной сети или ее элемента, выражаемое в децибелах и вычисляемое по формуле

$$a=10\lg P_1/P_2 \text{ или } a=20\lg U_1/U_2.$$

Прходное затухание – затухание радиосигнала, вносимое элементом линейной сети в полосе пропускания сети.

Переходное затухание – затухание радиосигнала между входом (выходом) и отводом ответвителя.

Интегральный шум – шум в канале обратного направления, состоящий из теплового шума, интермодуляционного шума и радиопомехи с равномерной спектральной плотностью мощности.

Интермодуляционный шум – шум в канале прямого или обратного канала, представляющий собой сумму, разность или произведения частот двух (и более) передаваемых сигналов.

Наклон амплитудно-частотной характеристики – разность усиления или затухания радиосигналов на двух фиксированных частотах между двумя точками линейной сети, выраженная в децибелах.

Оптический узел – совокупность технических средств и устройств, обеспечивающих сопряжение волоконно-оптического и коаксиального участков линейной сети.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних 10...15 лет большинство развитых стран проходили путь переоснащения (модернизации или ввода новых) систем кабельного телевидения (СКТ). Модернизация СКТ в основном осуществляется в целях введения новых каналов наземного и спутникового телевидения, каналов кабельных телестудий (аудио и видео), цифровых сигналов (DVB), пакетов цифрового телевизионного вещания (например MPEG), служебных цифровых сигналов, сигналов мультимедиа, каналов активного реверсного (обратного) обмена, позволяющих формировать интерактивное телевидение, а также для улучшения качества телевизионного приема.

Исторически первоначальные СКТ строились исключительно с использованием коаксиальных кабелей, имеющих возможно меньшие потери на частотах передачи ТВ-сигналов. Простота конструирования таких сетей, высокие эксплуатационные параметры пассивных и активных компонентов коаксиальных магистралей, простота сопряжения с другим радиоэлектронным вспомогательным оборудованием (телевизоры, видеомагнитофоны, видеосерверы, датчики, антенны и т. п.) при низкой стоимости (в пересчете на абонента) определили успех построения таких СКТ и по настоящее время.

Протяженность коаксиальных участков СКТ невелика и обычно не превышает 2...3 км. Причем, ее протяженность тем меньше, чем большее число каналов транслируется в сети. Коаксиальный участок крупной СКТ часто на практике именуют «последней милей».

Большое число транслируемых каналов требует расширения частотного диапазона СКТ (в настоящее время используется частотный диапазон 5...862 МГц. Под обратный канал отводится частотный диапазон 5...30 МГц).

Основной сложностью, возникающей при проектировании СКТ, является достижение требуемого отношения сигнал/шум на абонентской розетке (не менее 43 дБ [1]).

Другим важным параметром, влияющим на конечное качество транслируемых каналов, является уровень интермодуляционных искажений, которые накапливаются по трассе по мере прохождения через активные устройства (например усилители). Каждый из усилителей является квазилинейным устройством только в ограниченном диапазоне входных сигналов (динамический диапазон). С увеличением числа транслируемых каналов максимально допустимый входной (выходной) уровень каждого из сигналов понижается (при этом суммарная входная или выходная мощности остаются неизменными) с целью сохранения прежнего уровня продуктов интермодуляции. Аналогичная ситуация будет происходить и с увеличением числа каскадируемых каскадов усиления.

Реализация высоких параметров гибридной (т. е. с использованием коаксиального и оптического кабелей) интегральной (с внедрением интерактивного сервиса) СКТ является сложной задачей. Ее решение возможно только при использовании самого современного оборудования. Необходимо отметить, что подбор оборудования по своему качеству должен быть комплексным, т. к.

только при правильном комплексном подходе достигаются высокие конечные результаты.

В состав оборудования СКТ входят:

– антенный комплекс, включающий в свой состав приемное антенное оборудование: антенны, наземные телевизионные приемники, спутниковые антенны, антенное оборудование MMDS, антенны УКВ- и FM-диапазонов, канальные мачтовые малошумящие усилители, фильтры, сепараторы и т. д.;

– головное оборудование, включающее в свой состав собственно головную станцию (или несколько дополняющих друг друга головных станций (ГС)) и дополнительные составляющие (фильтры, сумматоры, усилители, ответвители и т. п.). Все головное оборудование следует подразделять на телевизионное и дополнительное (например, приемный или передающий комплекс MMDS, оборудование оцифровки аналоговых сигналов, оборудование временного и частотного уплотнения сигналов, различного рода кодеры или декодеры и т. п.), конфигурация которых будет определять функциональные возможности проектируемой интегральной СКТ;

– оптическая кабельная сеть, разделяющаяся на цифровую высокоскоростную (как правило, строящуюся по принципу кольца и обязательно имеющую резервирование по направлениям) и локальные магистральные (субмагистральные, в зависимости от топологического или административного деления телекоммуникационных объектов);

– коаксиальная кабельная сеть, часто именуемая распределительной (или дистрибутивной) сетью, которая несет максимальную энергетическую нагрузку и к которой в первую очередь предъявляют повышенные требования;

– транспортное дополнительное оборудование, отвечающее за доставку цифровых сигналов в компактном и защищенном виде от оптического приемника до абонентов и обратно. В состав дополнительного оборудования входят и цифровые видеосерверы, использующие ту или иную компрессию видеосигналов;

– интерактивный сервис, в значительной степени облегчающий жизнедеятельность микрорайонов, районов, муниципальных округов и города в целом (не говоря уже о самих жителях);

– абонентское оборудование.

Основными факторами, влияющими на качество транслируемых сигналов и максимальную протяженность магистрали, являются:

- напряженность электромагнитного поля в точке приема эфирных каналов;

- плотность падающего потока мощности сигналов спутникового телевизионного вещания;

- качество оборудования ГС. При этом речь идет не только об уровне выходного напряжения, а о таких параметрах как:

- выходное отношение сигнал/шум;

- помехозащищенность по соседнему и зеркальному каналам;

- возможность сохранения работоспособности при наличии дестабилизирующих факторов (изменения питающего напряжения, влажности, температуры окружающей среды и др.);
- качество конвертации сигналов;
- уровни побочных излучений в магистраль, в первую очередь – гетеродинных напряжений повышающих конвертеров и др.;
- приведенный динамический диапазон используемых усилителей;
- качество магистральных ответвителей сигналов;
- топологическое расположение объектов;
- качество абонентских разветвителей сигналов;
- правильный выбор частот конвертации.

Очевидно, что от уровня напряженности электромагнитного поля будет зависеть исходное отношение сигнал/шум, поступающее на ГС. При этом важно правильно выбрать тип диапазонных и канальных антенн по коэффициенту усиления и уровню боковых лепестков. Также очевидно, что чем больше используемых канальных антенн, тем выше помехозащищенность и больше реализуемое входное отношение сигнал/шум. В силу этого необходимо позаботиться о выборе места установки городской ГС. Если городская ГС потенциально способна формировать выходное отношение сигнал/шум величиной до 66 дБ (или более), но для этого нет условий приема, то она его не сформирует.

В качестве городских и районных ГС желательно также применять профессиональные станции с высокими эксплуатационными характеристиками, а именно – 66 дБ для городской и 60 дБ для районной ГС.

В качестве микрорайонных ГС вполне достаточно использования полупрофессиональных программируемых многофункциональных и мультистандартных гибких станций, способных формировать выходное отношение сигнал/шум величиной не менее 54 дБ.

СКТ могут строиться только на коаксиальных компонентах без использования оптических технологий, что зависит от плотности застройки, места расположения ГС и пр. Однако в больших городских массивах это затруднительно, особенно при централизованной трансляции телевизионных программ. Поэтому во всем мире все большее распространение получают гибридные СКТ (Hybrid Fiber Coaxial – HFC). В них совместно используются волоконно-оптические технологии с традиционными распределительными кабельными сетями.

В данном методическом пособии приведены необходимые данные для проектирования и расчета интерактивных гибридных СКТ с различной глубиной проникновения оптики.

1 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ВОЛОКОННО-КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

1.1 Выбор структуры построения ВОЛС кабельной распределительной сети

Для создания единой информационно-телекоммуникационной сети в настоящее время широко используются гибридные волоконно-коаксиальные распределительные сети (РС), цель которых – объединить разрозненные кабельные сети между собой и создать единую глобальную широкополосную сеть на базе волоконно-оптической техники.

В гибридных РС на коаксиальных компонентах строится, так называемая, последняя миля – от оптического узла до абонента. Эта часть РС имеет древовидную топологию и называется коаксиальным кустом или кластером. Размеры кластеров, как в чисто коаксиальных РС, так и в гибридных РС, зависят от потребностей в интерактивных услугах. Количество абонентов в одном кластере гибридной РС может достигать 500 и более, но конкретные значения определяются при проектировании РС.

Проектируемые РС должны обеспечивать доставку абонентским устройствам аналоговых и цифровых телевизионных и ОВЧ ЧМ вещательных сигналов с уровнями и параметрами, соответствующими требованиям СТБ 1662 [1].

При расчете СКТ уровень телевизионных сигналов на входе абонентских устройств для обеспечения высококачественного приёма телевизионного изображения должен быть не менее 66 дБмкВ и не более 80 дБмкВ.

Исходными данными для расчета РС являются:

- а) количество и номера действующих и планируемых телевизионных каналов;
- б) частотный план распределения каналов в СКТ.

ГС и частотный план должны выбираться в соответствии с [1] – [4] и следующими рекомендациями:

– для средних и больших СКТ головные станции с двухполосными модуляторами не используются, а при большом числе транслируемых каналов не используются и для малых СКТ;

– потенциальная возможность работы в соседних каналах ($n \pm 1$) не зависит от диапазона конвертирования при обработке сигналов наземного и спутникового телевизионного вещания, а определяется видом и качеством используемого модулятора;

– в диапазонах ОВЧ частотное планирование можно осуществлять произвольно, за исключением каналов $n \pm 4$ (для стандарта OIRT) или $n \pm 5$ (для стандарта CCIR), которые для отдельных типов ГС могут оказаться пораженными;

– в диапазонах УВЧ при использовании модулей со сплошным частотным перекрытием следует учитывать уровни ложных сигналов на каналах $n \pm 9$

и $n \pm 11$ вне зависимости от используемого стандарта, или вообще не использовать их при частотном планировании. Не следует использовать каналы распределения с частотами $n \pm 5$;

- при использовании профессиональных ГС (класс 1 согласно [4]) частотное планирование можно организовать произвольно в любом из диапазонов;

- для крупных СКТ центральная ГС может быть выполнена с резервированием каналов;

- помимо нелинейных искажений необходимо уделить внимание и линейным искажениям, особенно групповому времени запаздывания (ГВЗ), т. к. именно этот параметр в основном определяет четкость изображения;

в) выходные параметры ГС для расчета кабельной распределительной сети (КРС):

- выходное отношение несущая/шум (C/N_G);

- отношение сигнал/помеха;

- уровень канальных интермодуляционных искажений;

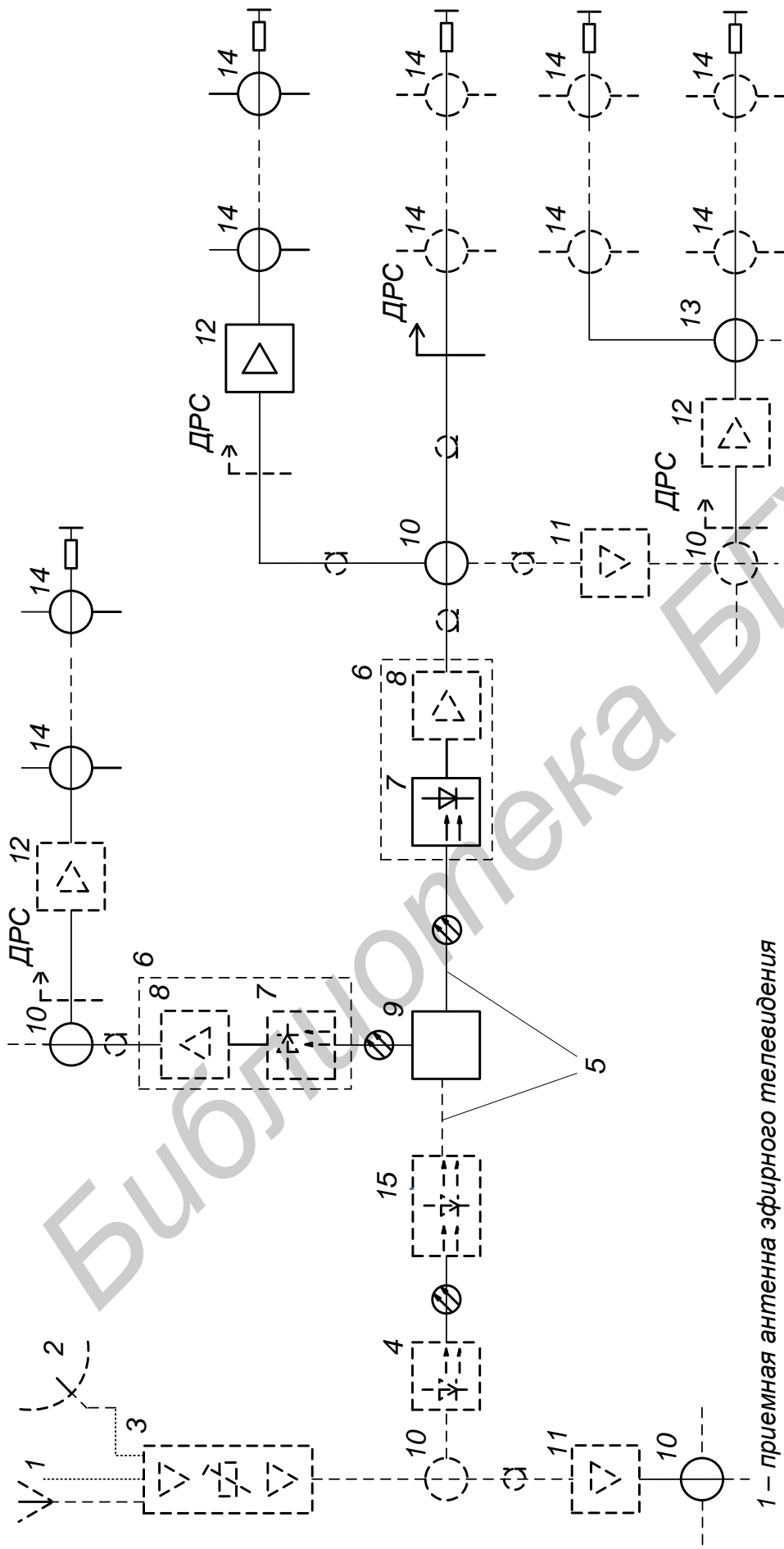
- уровень диапазонных интермодуляционных искажений (CTB_G , CSO_G).

На рисунке 1.1 приведен обобщённый вариант гибридной волоконно-коаксиальной РС с глубоким проникновением оптики. В этой структуре волокну прокладывается в транспортной сети и только внутри кластера (сегмента) используется коаксиальный кабель. Это так называемая сеть FTTC (волоконно до шкафа). Количество обслуживаемых абонентов в одном кластере может лежать в пределах от 200 до 2000. Проектирование современных интерактивных СКТ предполагает уменьшение числа обслуживаемых абонентов и уменьшение количества электрических усилителей – не более трех магистральных усилителей и один домовый усилитель (УД) после оптического узла (технология FTTC). Тенденция развития СКТ состоит в доведении волокна до дома (технология FTTH – с количеством абонентов от 50 до 200 и FTTH – с обслуживанием одного абонента).

Важной отличительной особенностью построения ВОЛС является тот факт, что для организации ОК в обязательном порядке требуется наличие отдельного оптического волокна (см. рисунок 1.2). При запасе в C/N (отношение несущая/шум) отдельные волокна с помощью оптических направленных ответвителей могут суммироваться в одно оптическое волокно. Иногда, с целью минимизации оптических волокон, для организации обратного канала используют волновое мультиплексирование WDM (см. [7], [8]), как показано на рисунке 1.3.

Топологические габариты ВОЛС, в основном, ограничены следующими факторами: числом оптических узлов (ОУ), приходящимся на один передатчик; системной загрузкой (числом и видом транслируемых каналов); затуханием в ВОЛС; регламентацией качества транслируемых сигналов (т.е. интермодуляционными искажениями – CTB , CSO и C/N).

Существуют следующие виды (структуры) физической топологии распределения оптической мощности сигнала: звездообразная (точка–точка), лестничная (древовидная) и смешанная.



- 1 – приемная антенна эфирного телевидения
- 2 – приемная антенна спутникового телевидения
- 3 – головная станция
- 4 – оптический передатчик
- 5 – волоконно-оптическая линия
- 6 – оптический узел
- 7 – оптический приемник узла распределения
- 8 – широкополосный усилитель узла распределения
- 9 – оптический ответвитель
- 10 – широкополосный ответвитель
- 11 – усилитель магистральной сети
- 12 – усилитель домовой сети
- 13 – ответвитель домовой сети
- 14 – абонентский ответвитель
- 15 – оптический усилитель

Рисунок 1.1 – Обобщенная структурная схема гибридной РС

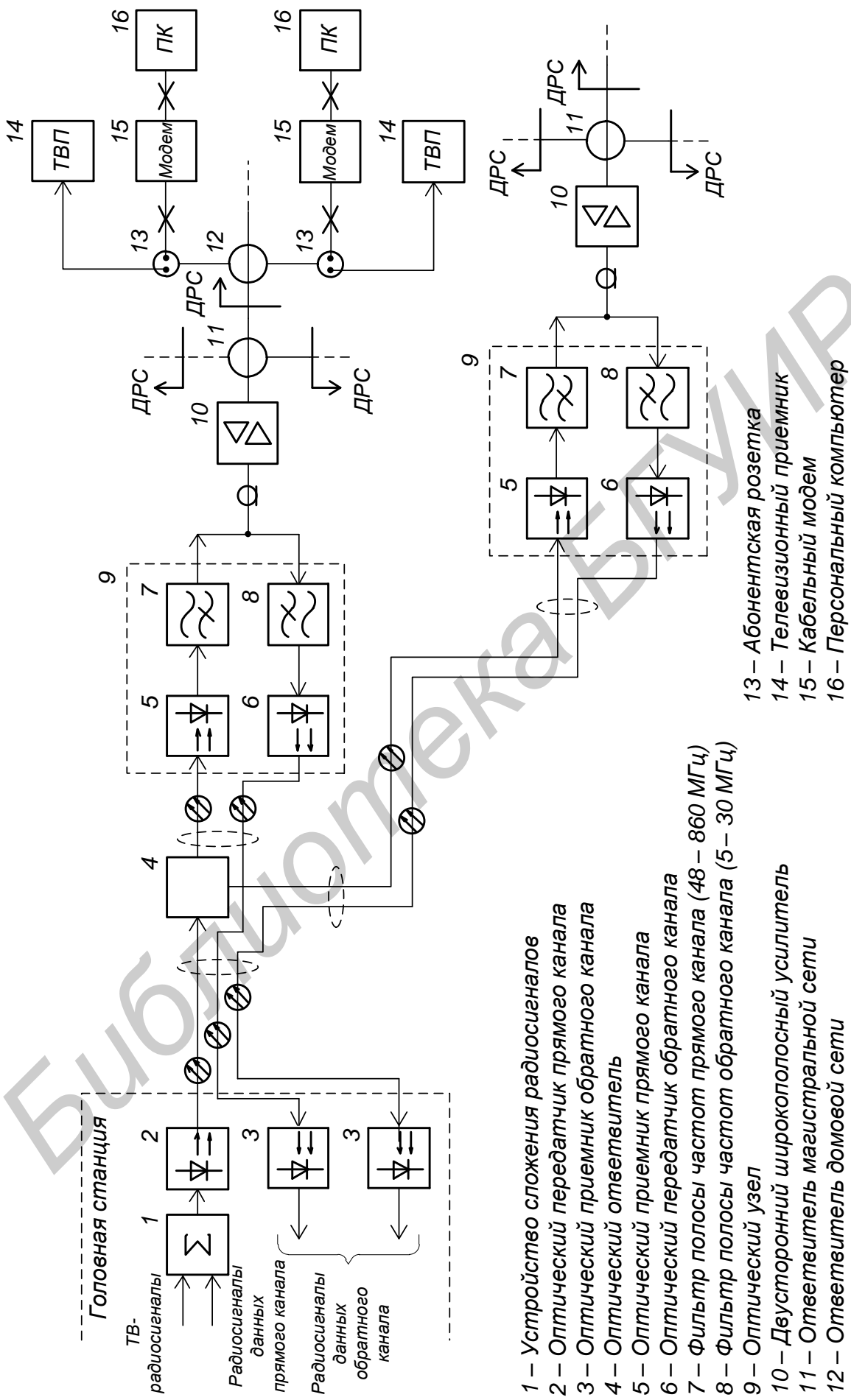
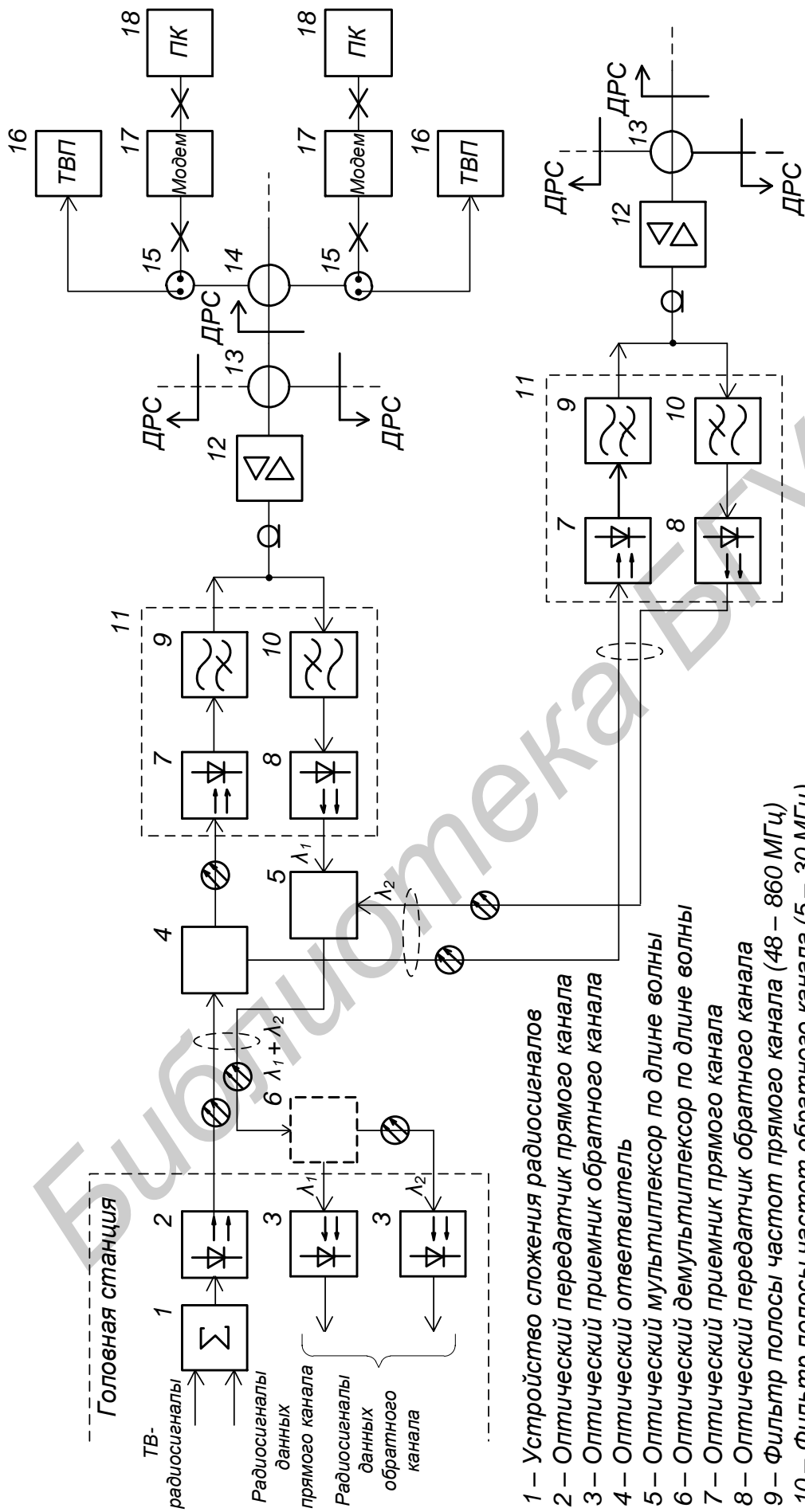


Рисунок 1.2 – Схема организации обратного канала в гибридной РС по отдельным волокнам оптического кабеля



- 15 – Абонентская розетка
- 16 – Телевизионный приемник
- 17 – Кабельный модем
- 18 – Персональный компьютер

- 1 – Устройство сложения радиосигналов
- 2 – Оптический передатчик прямого канала
- 3 – Оптический приемник обратного канала
- 4 – Оптический ответвитель
- 5 – Оптический мультиплексор по длине волны
- 6 – Оптический демультиплексор по длине волны
- 7 – Оптический приемник прямого канала
- 8 – Оптический передатчик обратного канала
- 9 – Фильтр полосы частот прямого канала (48 – 860 МГц)
- 10 – Фильтр полосы частот обратного канала (5 – 30 МГц)
- 11 – Оптический узел
- 12 – Двусторонний широкополосный усилитель
- 13 – Ответвитель магистральной сети
- 14 – Ответвитель домовой сети

Рисунок 1.3 – Схема организации обратного канала в гибридной РС с уплотнением по длине волны

Звездообразная структура характеризуется высокой надежностью, удобством топологического разветвления по направлениям и минимальными потерями на распределение оптической мощности. Однако эта структура предусматривает максимальное число оптических волокон и неэкономична при использовании резервирования по направлениям.

Лестничная структура, как правило, используется для резервирования по кольцу. Эта структура использует всего одно волокно, она экономична, но обладает максимальными потерями на распределение оптической мощности.

На практике чаще всего используется смешанная структура, сочетающая в себе особенности обеих структур: ограниченное число оптических волокон, минимальная стоимость при частичном резервировании по направлениям.

Передача телевизионного сигнала по разным оптическим кабелям, проложенным встречно, часто используется в крупных СКТ для резервирования по направлениям. При этом на приемной стороне, как правило, используются ОУ с двойным оптическим входом/выходом, что обеспечивает автоматическую коммутацию (в долях секунды) при обрыве волоконно-оптического кабеля по каждому из направлений.

Со стороны передатчика для обеспечения резервирования по направлению следует устанавливать оптический ответвитель (с затуханием $\sim 3,5$ дБ) или сразу два передатчика, обеспечивающих также дополнительное резервирование по оборудованию. При отсутствии требования автоматического резервирования возможно использование ручной коммутации пигтейлами по направлениям. Необходимо учесть, что при смене питающего направления неизбежно будет меняться уровень входной оптической мощности, следовательно, и параметры C/N , CTB и CSO , что следует учитывать при проектировании.

Волновое уплотнение оптических несущих (мультиплексирование WDM, CWDM, DWDM) в соответствии с [7], [8] позволяет более полно использовать потенциальную широкополосность оптических волокон. WDM мультиплексирование позволяет по одному волокну передавать сигналы на длинах волн 1310/1550 нм. Мультиплексирование CWDM/DWDM (разреженное/плотное) используется только в третьем окне прозрачности (1550 нм), в силу чего оно может объединяться и с WDM мультиплексированием.

Все передатчики должны работать строго на фиксированной длине волны (частоте), оговариваемой частотным планом в соответствии с [7], [8] с высокой стабильностью и ограниченной оптической полосой. Системы CWDM (обычно не более 8 каналов) значительно более экономичны в сравнении с системами DWDM и позволяют транслировать как аналоговые, так и цифровые сигналы. DWDM системы менее экономичны и обладают меньшей величиной межканальной развязки (т. е. наблюдается взаимная кроссмодуляция между близлежащими оптическими каналами).

Выбор оптической длины волны играет очень важную роль на этапе проведения проектных работ. Основными критериями являются финансовые затраты с учетом технических характеристик и перспектив модернизации сети при прокладке оптического волокна. Основными параметрами являются затухание

на один километр, количество сварных и разъемных соединений и затухание в них, которое практически не зависит от длины волны. Для второго и третьего окон прозрачности погонное затухание составляет 0,35...0,4 дБ/км и 0,19...0,22 дБ/км соответственно. Выбор окна прозрачности напрямую связан с типом используемого оптического волокна и возможностью использования оптических усилителей (в третьем окне прозрачности), т. к. шумы, вносимые при использовании только оптических усилителей гораздо меньше, чем при преобразовании «оптический приемник – оптический передатчик».

В настоящее время используются несколько типов оптических волокон согласно [9] – [12]. Использование конкретного типа ОВ определяется целевым назначением строящейся сети и, прежде всего, используемым окном прозрачности, необходимой протяженностью ВОЛС, которая на длине волны 1310 нм составляет, как правило, 30...35 км, а на длине волны 1550 нм – 65...80 км. Длину волны 1550 нм можно рекомендовать для использования в транспортных, а 1310 нм – в магистрях ВОЛС РС.

Протяженность ВОЛС во многом зависит, как от используемой длины волны, так и от наличия оптических усилителей. При передаче аналоговых сигналов предпочтение следует отдавать оптическим усилителям на активных волокнах, легированных ионами эрбия EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier – оптический усилитель на волокне, легированном эрбием) или рамановскому усилителю.

2 РАСЧЁТ ПРЯМОГО КАНАЛА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

2.1 Расчёт оптического бюджета мощности прямого канала

Каждый компонент оптоволоконного тракта РС имеет свою величину оптических потерь. Допустимые потери оптического сигнала на всем пути от оптического передатчика до приемника называют оптическим бюджетом мощности ВОЛС. Его расчет ведется на основании информации, представленной производителем выбранного оборудования, пассивных элементов оптического тракта, выбранной топологии сети.

Расчет прямого канала целесообразно начинать с выбора значения входной мощности ОУ (оптического приемника), соответствующей приблизительно середине диапазона входного уровня мощности, но с обеспечением запаса не менее 2 дБ от нижнего порога чувствительности.

Двигаясь по ВОЛС в сторону передающей платформы, учитывают потери мощности в оптическом волокне с учетом его протяженности, а также на сварных соединениях в оптических муфтах, на патчкордах* или пигтейлах** (при их наличии) и других элементах оптического тракта.

Конечным этапом планирования бюджета оптической мощности является выбор оптического передатчика для передающей платформы, обладающего необходимой мощностью выходного сигнала.

2.2 Выбор оптического приёмника

При выборе оптического приемника (или оптического узла) необходимо руководствоваться следующими правилами [13]:

– архитектура FTTV/FTTH минимизирует коаксиальный сегмент до уровня дома и позволяет использовать оптический приемник на границе требований, предъявляемых к КРС;

– оптические приемники архитектуры FTTC работают с уровнями входных мощностей порядка $P_{ВХ.ОПТ}$ от минус 2 до плюс 1 дБм, а при архитектуре FTTV – от минус 10 до минус 5 дБм. В силу того, что уровень выходного сигнала понижается с удвоенным значением снижения уровня входной оптической мощности, коэффициент усиления оптического приемника для архитектуры FTTH должен быть на 10...20 дБ выше, чем для архитектуры FTTC;

– отношение несущая/шум (C/N) на выходе оптического приемника прямо пропорционально уровню входной оптической мощности. В силу этой особенности, C/N архитектуры FTTH (43...48 дБ) много ниже, чем архитектуры FTTC (50...54 дБ), при том же уровне индекса оптической модуляции $ОМІ$ (Optical Modulation Index);

* патчкорды – короткие провода с многопроволочными жилами, предназначенные для многократного соединения розеток в коммутационных панелях;

** пигтейлы – оптические шнуры, которые с одной стороны обжаты соединителем определенного типа

– всякое увеличение (уменьшение) уровня оптической мощности, поступающей на вход оптического приемника, на 1 дБ вызывает понижение (повышение) *CSO* и выходного уровня на 2 дБ, *CTB* – на 4 дБ. При сохранении же выходного уровня электрического сигнала (например, за счет введения аттенюатора), искажения практически не изменятся. Это свидетельствует о необходимости использования жесткой автоматической регулировки усиления (АРУ) в приемных модулях ГС или в самих оптических приемниках;

– большему устанавливаемому выходному уровню оптического приемника соответствуют большие значения искажений;

– при работе оптического приемника в режиме максимального уровня выходного сигнала (что характерно для ФТТН, т. к. оптический приемник является конечным активным устройством, вносящим искажения), его выходные значения *CSO* и *CTB* фактически не зависят от уровня входной оптической мощности;

– при архитектуре ФТТН необходимо использовать оптический приемник со встроенным эквалайзером. Его введение позволяет не только понизить вносимые искажения, но и доставить до абонентских розеток более равномерный сигнал с наименьшими искажениями амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

При построении РС с глубоким проникновением оптики оптический приемник целесообразно использовать в режиме максимального усиления при минимальном уровне входной оптической мощности с установкой предварительного эквалайзирования, а также при максимально возможном индексе оптической модуляции.

В таблицах 2.1 и 2.2 приведены рекомендуемые нормируемые значения параметров, учитываемых при расчете величины вносимых потерь.

Таблица 2.1 – Расчетное затухание в компонентах

ВОЛС	Вносимые потери на длинах волн	
	1310 нм	1550 нм
Оптический кабель	0,35 дБм/км	0,22 дБм/км
Соединитель (разъем)	0,5 дБ	
Сварное соединение	0,15 дБ	

Таблица 2.2 – Затухание в сплиттерах

Оптические сплиттеры (процент пропускания), %	Максимальные вносимые потери, дБ
Два направления 1x2	
1	21,6
3	16,4
5	14,3

Продолжение таблицы 2.2

Оптические сплиттеры (процент пропускания), %	Максимальные вносимые потери, дБ
10	10,8
15	8,9
20	7,6
25	6,6
30	5,8
33	5,6
35	5,1
40	4,5
45	4,1
50	3,6
55	3,1
60	2,7
65	2,4
67	2,6
70	2,0
75	1,7
80	1,4
85	1,1
90	0,9
95	0,66
97	0,55
99	0,45
Четыре направления (1x4)	
25/25/25/25	7,4
Восемь направлений (1x8)	
12,5/12,5/.../12,5	11,5
Шестнадцать направлений (1x16)	
6,25/6,25/.../6,25	14,6

2.3 Расчет выходной мощности оптического передатчика

Выбрав тип оптического приемника и уровень входного оптического сигнала максимально удаленного оптического приемника, необходимо рассчитать уровень оптической мощности на выходе передатчика P_{OT} , дБм, по следующей формуле:

$$P_{OT} \geq P_{BX.OPT} + \alpha_{OB}L + \alpha_{ПК}N_{ПК} + N_{cc}\alpha_{cc} - N_{oy}K_{oy} + \sum_{i=1}^N \alpha_i, \quad (2.1)$$

где $P_{ВХ.ОПТ}$ – входной уровень мощности оптического приемника, дБм;
 $\alpha_{ОВ}$ – погонное затухание оптического волокна, дБ/км;
 L – длина проложенного оптического кабеля между оптическим передатчиком и максимально удаленным оптическим приемником (узлом), км;
 $\alpha_{ПК}$ – затухание в разъёмных соединителях (патчкордах), дБ;
 $N_{ПК}$ – число разъёмных соединителей;
 $\alpha_{сс}$ – затухание в сварных соединениях, дБ;
 $N_{сс}$ – число сварных соединений;
 $N_{оу}$ – количество оптических усилителей (не более двух);
 $K_{оу}$ – коэффициент усиления оптического усилителя, который определяется как разность между выходным и входным уровнем мощности, дБ;
 α_i – максимальные вносимые потери оптическим ответвителем, дБ;
 N – число сплиттеров.

Расчет оптической мощности передатчика можно проводить, для удобства разбивая ВОЛС на отдельные участки: от оптического приемника до выхода последнего оптического усилителя, между оптическими усилителями и прочими элементами.

На основании полученных данных выбирают оптический передатчик с требуемым уровнем оптической мощности на выходе, рассчитанной по формуле (2.1) с учетом рекомендаций [14].

2.4 Критерии выбора оптических передатчиков

Правильный выбор оптического передатчика (ОП) является важным моментом при построении НФС-сети. Выбор ОП связан не только с реализуемыми параметрами волоконно-оптической линии связи, но и с ценовыми показателями сети кабельного телевидения в целом [14].

Рассмотрим основные параметры ОП, согласно которым и осуществляется его выбор. Для сравнения в таблице 2.3 приведены типовые численные значения основных параметров ОП от компаний FiberLabs (OMT 1550) и Teleste HDO 700P/701, и DVO 902.

Таблица 2.3 – Основные параметры ОП компаний FiberLabs и Teleste

Параметр / Модель	OMT1550	HDO700P	HDO701	DVO902
Оптические параметры				
Диапазон длин волн, нм	1550 ±10		1547 –1559	1310 ±20
Ширина спектральной линии, кГц	–	500	300	–
Пригодность DWDM	–	–	+	–
Выходная мощность, дБм	2x9	2x7,5	2x10	4-13
Относительная интенсивность шума (RIN), дБ/Гц	-160			-155

Продолжение таблицы 2.3

Параметр / Модель	OMT1550	HDO700P	HDO701	DVO902
Высокочастотные параметры				
Диапазон высоких частот, МГц	45-870	47-862	47-1000	47-862
Диапазон высоких частот, МГц	45-870	47-862	47-1000	47-862
Уровень входного сигнала, дБмкВ	72-78	75-85	76-82	80-88
Неравномерность АЧХ, дБ	±0,75	±0,75	±0,5	±0,4
Импеданс, Ом	75			
Коэффициент возвратных потерь, дБ	16	18	20	18
Системное исполнение				
C/N (77 к. NTSC, OMI – 3%)	52	52	–	–
C/N (42 к. CENELEC, OMI – 4,1%)	52,7	52,7	53	54
CTB (77 к. NTSC, OMI – 3%)	65	65	–	–
CTB (42 к. CENELEC, OMI – 4,1%)	67	67	65	68
CSO (77 к. NTSC, OMI – 3%)	65	65	–	–
CSO (42 к. CENELEC, OMI – 4,1%)	66	66	65	63

Диапазон рабочих длин волн является определяющим критерием и в сильной степени зависит от топологии ВОЛС и ее типа. В настоящее время в СКТ для передачи ТВ-сигналов используются два окна прозрачности: 1330 нм и 1550 нм (рисунок 2.1). Основное достоинство диапазона 1550 нм – это возможность включения оптических усилителей (EDFA), что позволяет строить довольно протяженные ВОЛС. Более того, при ограниченном числе оптических волокон (ОВ), за счет установки WDM-волновых дуплексеров диапазонов 1310/1550 нм, можно использовать значительно меньшее число ОВ.

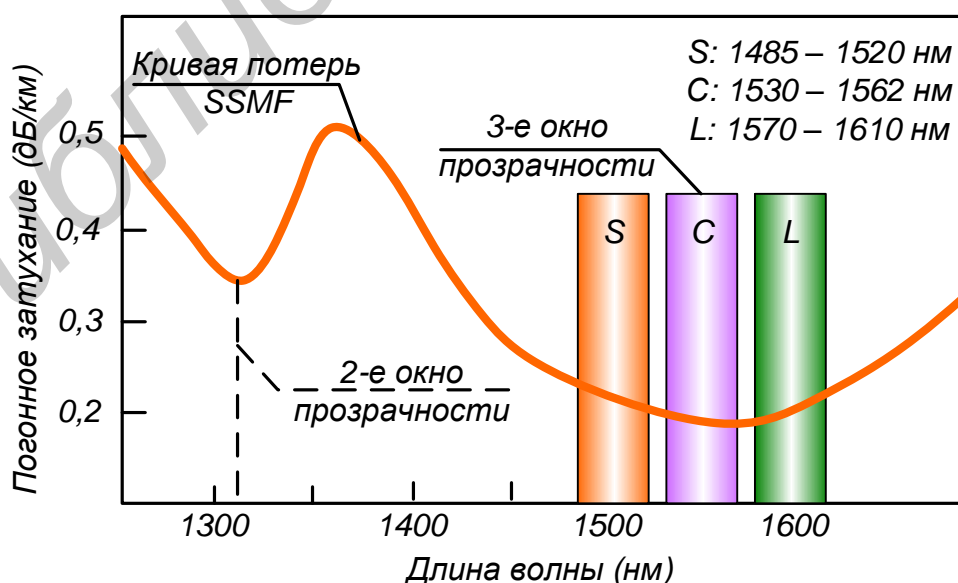


Рисунок 2.1 – Погонное затухание в используемых окнах прозрачности

Уровень выходной оптической мощности является важным параметром и определяется при расчете энергетического бюджета ВОЛС. Ограничением максимальной мощности передатчика являются допустимый порог стимулированного бриллюэновского рассеяния (SBS), уровень допустимых искажений для четырехволнового смещения (FWM), фазовая самомодуляция (SPM).

Именно уровень оптической мощности, транслируемой в ОВ, является основной причиной нелинейных искажений, возникающих в ОВ, из которых наиболее важным параметром по критерию искажений является порог SBS. При его превышении резко увеличивается мощность отражения (при идеальном импедансном согласовании), что приводит к фазовым искажениям и срыву читаемости цифровых сигналов с QAM-модуляцией (например DVB-C).

С этой точки зрения преимущество опять имеет диапазон 1550 нм, позволяющий устанавливать EDFA на несколько направлений в узловых точках ВОЛС. Рекомендуемый уровень мощности в таких ВОЛС не более 10...13 дБм.

При отсутствии EDFA мощность может быть увеличена до 16 и даже 18 дБм (зависит от типа передатчика, типа ОВ и протяженности ВОЛС).

При выборе типа передатчика следует обратить внимание на возможность регулировки порога SBS. Например, такая возможность предусмотрена в передатчиках Teleste и достигается за счет изменения ширины спектра оптического сигнала. При трансляции в ВОЛС только аналоговых сигналов такая функция является необязательной.

Наличие двух оптических выходов с равной мощностью (см. таблицу 2.3) позволяет работать на два топологических направления или строить кольцо резервирования.

Шумовые параметры передатчика характеризуются только единственным параметром – относительной интенсивностью шумов (RIN – Relative Intensity Noise), измеряемой в дБ/Гц. Чем меньше данная величина, тем меньшей шумовой мощностью обладает передатчик.

Отметим, что в FTTH-сетях конечное значение C/N (т. е. на выходе оптического приемника) слабо зависит от величины RIN , т. к. в основном зависит от уровня входной оптической мощности и шумовых параметров самого приемника, вследствие чего может быть выбран более дешевый ОП. Индекс оптической модуляции (OMI или m) является справочной величиной, указывающей, при каком режиме работы приводятся эксплуатационные параметры (C/N , CTB и CSO). Уровень входного модулирующего сигнала (высокочастотного – ВЧ) измеряется в дБмкВ.

Данный уровень влияет на m и приводится для конкретного числа каналов. Канальным уровнем сигнала (в справочных параметрах указывается именно канальный уровень напряжения) и числом каналов определяется входная мощность модулирующего сигнала, от которой и зависит m .

Таким образом, для поддержания стабильности m (а от него зависят все системные параметры ВОЛС) необходима цепь автоматической регулировки мощности (АРМ). Цепь АРМ обычно работает в диапазоне не более 5 дБ и позволяет добиться стабильности системных параметров вне зависимости от числа

каналов (а их число обычно меняется в зависимости от времени суток и иных обстоятельств) и уровней входных сигналов (т. е. вне зависимости от стабильности группового сигнала на выходе ГС). При выборе ОП целесообразно поинтересоваться о наличии цепи АРМ.

Желательно также иметь регулировку порога цепи АРМ, что позволит изменять m (системные параметры) в зависимости от типа НФС-сети. Так, для ФТТН-сети желательна работа при повышенных значениях m . В крайнем случае, необходимо убедиться в возможности отключения цепи АРМ и перехода в режим ручной работы.

Важным параметром является диапазон рабочих частот. Подавляющее большинство производителей выпускают ОП на полный частотный диапазон 47–862 МГц. Некоторые производители (например та же Teleste) в составе ОП устанавливают входные эквалайзеры, позволяющие при правильных расчетах реализовать более высокие системные параметры.

Неравномерность АЧХ ОП имеет малое значение, т. к. опытный монтажник (оператор) при наличии качественного измерительного оборудования всегда сможет выровнять уровни каналов.

При наличии же тестового оптического узла возможно даже и сведение суммарной неравномерности АЧХ системы (т. е. с учетом приемника) также в ноль. Тем не менее, желателен выбор ОП с минимальной неравномерностью АЧХ (особенно при разнородных оптических узлах в СКТ).

Коэффициент возвратных потерь выражается в децибелах (дБ) и характеризует степень согласования между источником сигнала (выходом ГС) и входом модулятора ОП. Ввиду малости расстояния между ГС и ОП данный параметр не является критичным.

Более того, как правило, между выходом ГС и входом модулятора обычно устанавливаются пассивные устройства (например, сплиттер или направленный ответвитель), которые и будут определять степень согласования.

Системные параметры являются основными при выборе типа ОП. Как это ни парадоксально, но именно выбор ОП по критерию системных параметров (C/N , CSO и CTB) является наиболее сложным. Связано это с тем обстоятельством, что заявляемые параметры приводятся при разных режимах загрузки (индекса модуляции – m), при разном числе каналов и при разных системах цветности (PAL, NTSC или SECAM).

Первым шагом, необходимым для приведения всех параметров к «единому множителю», является приведение всех заявленных параметров к какой-либо одной системе, например, CENELEC EN 50083, 42 канала, PAL.

Вызвано это тем обстоятельством, что C/N на передатчик заявляется совместно с приемником с конкретным спектральным шумовым током. Интермодуляционные искажения также измеряются вместе с приемником.

Однако выходной уровень оптического приемника устанавливается малым. При таком режиме работы он практически не добавляет искажений, вносимых приемником, в силу чего суммарно измеряемые CSO и CTB фактически обязаны только самому передатчику.

Осложняется процесс пересчета еще и тем обстоятельством, что некоторые производители заявляют системное C/N при конкретном типе и длине ОВ в комбинации с EDFA (иногда и двумя). В основном это относится к передатчикам, работающим на длине волны 1550 нм.

Например, $C/N = 53$ дБ на передатчик HDO701 (таблица 2.3) заявлено с волоконно-оптическим кабелем (ВОК) длиной 65 км и в комбинации с EDFA HDO726 (таблица 2.4) и оптическим узлом CXE800 (таблица 2.5). Собственное же C/N передатчика HDO701 составляет 58,5 дБ. А вот уже при включении двух EDFA HDO726 и увеличении ВОК до 100 км C/N снижается до 50 дБ (при этом порог SBS отрегулирован на +13 дБм).

Таблица 2.4 – Основные параметры оптических усилителей FiberLabs и Teleste

Наименование параметра	FiberLabs	Teleste
	EDFA-1550	HDO726
Диапазон длин волн, нм	1530...1560	1540...1560
Выходная мощность насыщения, дБм	13...24	13...23
Диапазон входных мощностей, дБм	–	–2 ... +10
Коэффициент шума, дБ	4,5...5,5	<5
Малосигнальный коэффициент усиления	30/55	–
Число оптических выводов	1	2
Поляризационная чувствительность, дБ	<0,3	–

Таблица 2.5 – Основные параметры прямого канала оптического узла CXE800

Наименование параметра	CXE800
	EDFA-1550
Диапазон длин волн, нм	1290...1600
Входная оптическая мощность, дБм	–7...0
Диапазон рабочих частот, МГц	47...862
Коэффициент возвратных потерь, дБ	18
Выходной уровень, ограниченный АРУ (–7...0 дБм, $m = 4\%$), дБмВ	110
Выходной уровень, ограниченный усилением (–2 дБм, $m = 4\%$), дБмВ	118
Регулировка выходного уровня, дБ	0...–15
Межкаскадный эквалайзер, дБ	0/8
Неравномерность АЧХ, дБ	±0,5
Спектральная плотность шумового тока, пА/Гц	6
Максимальный уровень выходного сигнала (эквалайзер, дБ, 42 к. SENELEC, $P_{BX} = -4$ дБм, $m = 4\%$), дБмВ:	
$CSO/CTB = 60$ дБ	113
ХМCD = 60 дБ	110

После осуществления этого шага уравнивают C/N каждого из передатчиков, придерживаясь следующего правила: всякому увеличению (уменьшению) уровня входного модулирующего напряжения на 1 дБ будет соответствовать увеличение (уменьшение) C/N на 1 дБ, уменьшение (увеличение) CSO также на 1 дБ и уменьшение (увеличение) CTB на 2 дБ.

Так, если на входе передатчика ОМТ-1550 (см. таблицу 2.3) понизить уровень входного сигнала на 2 дБ (каждого из каналов), то системные параметры составят: $C/N = 50$ дБ; $CSO = 67$ дБ и $CTB = 69$ дБ.

При сложности проведения таких процедур рекомендуем придерживаться простого правила: коэффициент качества передатчика, определяемого как сумма C/N и CSO , не зависит от индекса оптической модуляции. Например, для ОТ НДО 700Р коэффициент качества передатчика $A = C/N + CSO = 52 + 65 = 117$ дБ. Для ОП типа НДО 701 он равен $A = 118$ дБ.

Конструктивное исполнение выбирается с учетом технических требований СКТ, возможностей финансовых затрат, требований дистанционного мониторинга, удобства обслуживания и пр. Так, традиционная конструкция предусматривает наличие встроенного источника питания, информационного дисплея и клавиш управления, с помощью которых осуществляется установка рабочих режимов. Использование же передатчиков, устанавливаемых в оптическую раму, рационально при наличии большого числа приемников реверсного канала (обычно это интерактивные СКТ) или нескольких ОП.

2.5 Расчет входного уровня сигнала в оптической системе

Индекс оптической модуляции $ОМІ$ m является мерой уровня модуляции оптической несущей ВЧ-сигналом, определяется по формуле

$$m = I_p / I_{mod}, \quad (2.2)$$

где I_p – пиковое значение модулирующего ВЧ-тока, А;

I_{mod} – средний модулирующий ток, А.

Зависит от входного уровня канального сигнала на входе оптического передатчика.

Обычно канальный индекс m_C модуляции в паспорте на оптический передатчик определен для конкретного числа каналов (например 42). Поэтому, если число каналов в проектируемой ВОЛС отличается от справочного N_C , т. е. составляет некоторое число N , то требуется перерасчет уровня входного сигнала. Следовательно, с увеличением числа транслируемых каналов N , уровень входного сигнала в ВОЛС U , дБмкВ, должен быть уменьшен по отношению к заявленному значению U_C , дБмкВт и, наоборот, в соответствии с выражением

$$U = U_C - 10 \lg(N / N_C). \quad (2.3)$$

Это означает, что с увеличением числа транслируемых каналов уровень входного модулирующего сигнала должен быть понижен на величину равную $10 \lg(N / N_C)$.

При этом снижается канальный индекс модуляции $m = m_c \sqrt{N_c / N}$ и, как следствие, снижается отношение C/N на величину $10 \lg(N/N_c)$ или $(U_c - U)$.

Для всякого удвоения числа каналов, уровень входного модулирующего сигнала должен быть понижен на 3 дБ. При этом CTB и CSO остаются неизменными, а C/N понижается на 3 дБ.

2.6 Расчет соотношения несущая/шум в оптическом тракте кабельной распределительной сети

Простейшая аналоговая ВОЛС (рисунок 2.2) включает в себя оптический передатчик (Optical Transmitter), оптический усилитель (Optical Amplifier) и оптический приемник (Optical Receiver). Оптические усилители используются только в третьем окне прозрачности, т. е. на длине волны $\lambda = 1550$ нм.

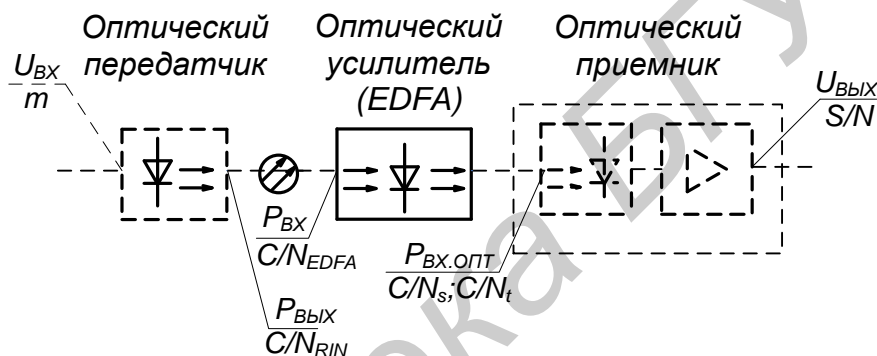


Рисунок 2.2 – Обобщенная схема аналоговой ВОЛС

Шумы оптического передатчика возникают вследствие спонтанной эмиссии фотонов, которая приводит к некогерентности светового потока. Эти шумы характеризуются относительной интенсивностью – RIN (Relative Intensity Noise), дБ/Гц, т. е. мощностью шумов, измеряемых в полосе 1 Гц по отношению к мощности излучаемого квазикогерентного светового потока. Отношение несущая/шум (C/N_{RIN}) записывается в соответствии с [15]:

$$C/N_{RIN} = 20 \lg(m) - 10 \lg(\Pi) - RIN - 63, \quad (2.4)$$

где m – индекс канальной оптической модуляции OMI , исчисляемый в безразмерных единицах;

Π – шумовая полоса ТВ-видеосигнала (4,75/5,75 МГц для систем PAL/SECAM соответственно), МГц.

Из формулы (2.4) видно, что с повышением m , которое достигается путем увеличения уровня сигнала, подаваемого на вход оптического модулятора, увеличивается C/N_{RIN} . Следовательно, всякое увеличение (уменьшение) уровня входного сигнала оптического передатчика на 1 дБ вызывает увеличение (уменьшение) OMI на 0,5 дБ и, как следствие, соответствующее изменение C/N

на выходе оптического приемника также на 1 дБ (при неизменном уровне выходной оптической мощности).

Если в СКТ транслируется N каналов в другой системе цветности, то C/N_{RIN} изменится на величину Δ_{RIN} в соответствии с выражением

$$\Delta_{RIN} = 10\lg(N/N_C) + 10\lg(P_C/P), \quad (2.5)$$

где N_C – справочное (паспортное) число каналов ТВ;

P – полоса частот ТВ-канала, МГц;

P_C – справочная (паспортная) полоса частот ТВ, МГц, относительно которой производится пересчет.

Примечание: для передатчиков с заявленными на них паспортными параметрами в стандарте NTSC, приведенные формулы (2.4) и (2.5) позволяют пересчитать шумовые характеристики для любой системы цветности. Однако уровни интермодуляционных искажений, в силу различий американских и европейских методик измерения параметров, с должной точностью пересчитать невозможно. Поэтому, приобретая такой передатчик, следует запросить у производителя параметры для требуемой системы цветности (PAL или SECAM).

Используя формулу (2.5), можно получить конечное отношение для расчета несущая/шум оптического передатчика в логарифмической шкале через его паспортные (с индексом «с») и эксплуатационные параметры [15]:

$$C/N_{RIN} = 20\lg(m_C) - 10\lg(P_C) + |RIN| - 63 + 10\lg\left(\frac{N}{N_C}\right) + (U_{ex} - U_{ex.C}) - 10\lg\left(\frac{P}{P_C}\right), \quad (2.6)$$

где m_C – справочный индекс канальной оптической модуляции;

U_{ex} – эксплуатационный уровень входного сигнала, дБмкВ;

$U_{ex.C}$ – справочный уровень входного сигнала, дБмкВ.

Шумы оптического усилителя EDFA также обусловлены спонтанной эмиссией фотонов. В технической литературе эти шумы часто обозначаются как ASE (Amplifier Spontaneous Emission – шумы спонтанной эмиссии), а отношение несущая/шум вычисляется по формуле в соответствии с [15]:

$$C/N_{EDFA} = 91 + 10\lg(\lambda) + P_{ex} + 20\lg(m) - 10\lg(P) - F, \text{ дБ} \quad (2.7)$$

где λ – длина оптической волны, мкм;

F – коэффициент шума EDFA, дБ;

P_{ex} – уровень оптической мощности на входе усилителя, дБм.

Из формулы (2.7) следует, что единственным изменяемым параметром для EDFA при проведении проектных работ является уровень входной оптической мощности, с повышением которого увеличивается соотношение C/N_{EDFA} . Однако, как и в случае с оптическим передатчиком, при увеличении входной оптической мощности увеличиваются интермодуляционные искажения (хотя они по своей величине намного меньше искажений, возникающих в передатчике и приемнике).

Шумы оптического приемника во многом зависят от чувствительности фотодетектора S , А/Вт, определяемой по формуле

$$S = \frac{\eta q \lambda}{hc}, \quad (2.8)$$

где η – квантовая чувствительность фотодетектора.

Это физическая величина, измеряемая током (в кулонах), который появляется на выходе фотодетектора при воздействии на его входе одного кванта световой энергии;

$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ – заряд электрона в кулонах;

h – постоянная Планка;

c – скорость света.

Из (2.8) следует, что чувствительность фотодетектора на длине 1550 нм на 0,73 дБ выше чувствительности на длине волны 1310 нм. Так, для типового значения $\eta = 0,8$; $S_{1310} = 0,845$ А/Вт и $S_{1550} = 1,0$ А/Вт.

Шумы оптического приемника, в основном, обусловлены хаотичным движением электронов (дробовой шум), а также тепловым шумом, создаваемым сопротивлением фотодетектора и последующим усилителем.

Соотношение несущая/шум определяется формулами (2.9) и (2.10) соответственно

$$C / N_S = \frac{m^2 S P_{ВХ.ОПТ}}{4q\Pi}, \quad (2.9)$$

$$C / N_t = \frac{(m S P_{ВХ.ОПТ})^2}{2\Pi_n^2}, \quad (2.10)$$

где I_n – эквивалентный шумовой тепловой ток усилителя, А/Гц^{1/2};

$P_{ВХ.ОПТ}$ – входная оптическая мощность, Вт.

Приведенные соотношения (2.9) и (2.10) могут быть записаны в удобной для практического пользования логарифмической форме в соответствии с [15]:

$$C / N_S = 90 + 20\lg(m) + P_{ВХ.ОПТ} + 10\lg(\lambda) - 10\lg(\Pi), \quad (2.11)$$

$$C / N_t = 113,6 + 20\lg(m) + 2P_{ВХ.ОПТ} + 20\lg(\lambda) - 10\lg(\Pi) - 20\lg(I_n). \quad (2.12)$$

Если известен параметр чувствительности фотодетектора S , следует использовать следующие расчетные соотношения:

$$C / N_S = 91,9 + 20\lg(m) + 10\lg(S) + P_{ВХ.ОПТ} - 10\lg(\Pi), \quad (2.13)$$

$$C / N_t = 117 + 20\lg(m) + 20\lg(S) + 2P_{ВХ.ОПТ} - 10\lg(\Pi) - 20\lg(I_n). \quad (2.14)$$

Суммарное значение C/N оптической системы вычисляется по традиционной формуле сложения некоррелированных мощностей:

$$C / N = -10\lg \left[10^{-\left(\frac{C/N_{RN}}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_{EDFA}}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_S}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_t}{10}\right)} \right]. \quad (2.15)$$

При использовании ВОЛС с двойным оптическим преобразованием (переход к другой длине волны) соотношение C/N рассчитывается по формуле

$$C/N = -101g \left[10^{-\left(\frac{C/N_1}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{C/N_2}{10}\right)} \right]. \quad (2.16)$$

2.7 Расчет искажений в оптических системах гибридных распределительных сетей

Интермодуляционные искажения (CSO и CTB – искажения второго и третьего порядка соответственно) являются столь же значимыми параметрами, как и отношение несущая/шум (C/N). Эти важнейшие параметры регламентируются как СТБ 1662 ($C/N \geq 43$ дБ, $CSO \geq 54$ дБ, $CTB \geq 54$ дБ), так и европейским стандартом [16] ($C/N \geq 44$ дБ, $CSO \geq 57$ дБ, $CTB \geq 57$ дБ).

Основные соотношения по накоплению интермодуляционных искажений в СКТ при каскадировании устройств различного типа приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Варианты расчета суммарных интермодуляционных искажений в зависимости от согласования интерфейсов в оптических системах

Стык	Наименование параметра	
	CSO_{Σ}	CTB_{Σ}
Оптика – оптика	$-121g(10^{-(CSO_1)/12} + \dots 10^{-(CSO_n)/12})$	$-151g(10^{-(CTB_1)/15} + \dots 10^{-(CTB_n)/15})$
Оптика – коаксиал	$-121g(10^{-(CSO_1)/12} + \dots 10^{-(CSO_n)/12})$	$-181g(10^{-(CTB_1)/18} + \dots 10^{-(CTB_n)/18})$
Коаксиал – коаксиал	$-101g(10^{-(CSO_1)/10} + \dots 10^{-(CSO_n)/10})$	$-201g(10^{-(CTB_1)/20} + \dots 10^{-(CTB_n)/20})$

Основные соотношения по накоплению искажений в гибридных РС при каскадировании оптических систем (см. рисунок 2.3) в соответствии с [17] и таблицей 2.6:

$$CSO_{\Sigma} = -121g(10^{-(CSO_1)/12} + \dots 10^{-(CSO_n)/12}), \quad (2.17)$$

$$CTB_{\Sigma} = -151g(10^{-(CTB_1)/15} + \dots 10^{-(CTB_n)/15}). \quad (2.18)$$

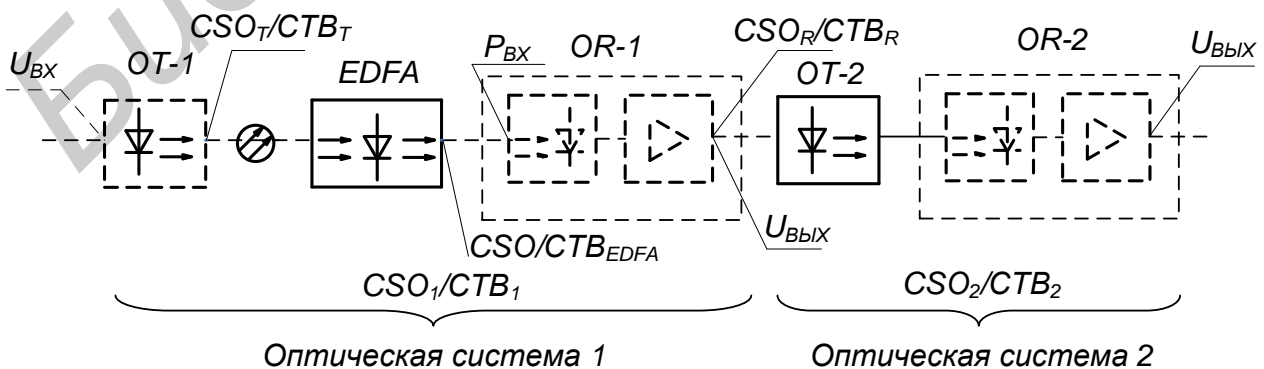


Рисунок 2.3 – Оптическая часть гибридной распределительной сети

Системные искажения (System Distortion) обусловлены искажениями, возникающими в оптических передатчиках, усилителях и приемниках. Как правило, на большинство оптических передатчиков и приемников приводимые значения искажений (CSO и CTB) заявлены в системном виде, т. е. на всю оптическую систему. Тем не менее, искажения могут быть приведены и на отдельно взятое оборудование, например, оптический передатчик или приемник. Поэтому при выборе оптического оборудования следует учесть условия и режимы эксплуатации, на которые даны те или иные параметры.

На практике от одного передатчика могут работать несколько разнотипных оптических приемников, что осложняет проведение расчетов. Более того, в ВОЛС могут передаваться сигналы разного вида, отличающиеся по своей амплитуде и полосе видеоканала. В ВОЛС почти всегда транслируется число каналов, отличающееся от паспортных значений. Все это вынуждает проводить расчет интермодуляционных искажений применительно к реальным условиям эксплуатации, базирясь на паспортных значениях.

Если в качестве паспортных значений заявлены суммарные искажения, то без большой погрешности можно принять, что искажения между оптическими передатчиком и приемником поделены поровну. Таким образом, искажения, возникающие в оптическом передатчике (CSO_T и CTB_T), выраженные через известные паспортные системные искажения (CSO_C и CTB_C) могут быть записаны в виде

$$CSO_T = CSO_R = CSO_C + 3,6, \quad (2.19)$$

$$CTB_T = CTB_R = CTB_C + 4,5. \quad (2.20)$$

При этом считается, что все режимные условия эксплуатации (входной и выходной уровни каналов, вид сигнала, число каналов, уровень входной оптической мощности и т. п.) остаются неизменными.

Искажения в оптическом передатчике (в большинстве случаев выполняемым на DFB-лазере с распределенной обратной связью), в основном, генерируются оптическим модулятором.

Если число каналов, входной уровень сигнала, полоса канала не совпадают с заявленными в паспорте или рассчитанными по формулам (2.19) и (2.20), то CSO и CTB оптического передатчика рассчитывается по формулам

$$CSO = CSO_T + U_{BX.C} - U_{BX} - 10\lg(N/N_C), \quad (2.21)$$

$$CTB = CTB_T + 2(U_{BX.C} - U_{BX}) - 20\lg(N/N_C). \quad (2.22)$$

Искажения в оптических усилителях по своей величине намного меньше аналогичных искажений (CSO и CTB – искажения второго и третьего порядков соответственно), возникающих в оптическом передатчике или в оптическом приемнике.

Если для используемого EDFA не указаны значения CSO и CTB , то в расчетах можно принять значения 72...74 дБ как наихудшие. При каскадировании EDFA нелинейные искажения накапливаются по законам, определяемым по формулам (2.17) и (2.18).

Таким образом, при использовании в оптической линии двух усилителей CSO понижается на 3,6 дБ, а CTB – на 4,5 дБ. При этом отношение несущая/шум (C/N) понижается на 3,0 дБ.

Искажения в оптических приемниках состоят из двух составляющих: искажений, возникающих в фотодетекторе, и искажений, возникающих в ВЧ-усилителе в соответствии с [18]. Эти искажения могут указываться в паспорте, как в составе системы (с учетом искажений оптического передатчика), так и индивидуально, на отдельный оптический приемник. При проектировании всегда важны параметры оптического приемника, как отдельного элемента, т. к. в составе одной СКТ могут использоваться несколько разновидностей оптических приемников при различных режимах эксплуатации (прежде всего, уровня входной оптической мощности и уровня выходного сигнала). Искажения оптического приемника (CSO и CTB) для расчетов могут быть выражены через справочные параметры оптической системы, определяемые по формулам (2.17) и (2.18).

Справочные (или расчетные) значения CSO и CTB оптического приемника приводятся для оговоренных условий эксплуатации, к которым относятся:

- уровень входной оптической мощности $P_{ВХ}$, дБм;
- устанавливаемый выходной уровень сигнала $U_{ВЫХ}$, дБмкВ;
- стандарт принимаемых сигналов (канальная видеополоса, занимаемая той или иной системой цветности: PAL – 4,75 МГц и SECAM – 5,75 МГц);
- число транслируемых каналов N .

Искажения, вносимые фотодетектором, малы по своей величине. Для их учета могут быть рекомендованы следующие выражения в соответствии с [18]:

$$CSO_{ФД} = 74 + P_C - P_{ВХ}, \quad (2.23)$$

$$CTB_{ФД} = 80 + 2(P_C - P_{ВХ}), \quad (2.24)$$

где P_C – справочная величина входной оптической мощности для искажений CTB и CSO , указанных в паспорте оптического приемника.

Через справочные или расчетные значения искажений, вносимых оптическим приемником в целом (CSO_R и CTB_R), по формулам могут быть найдены искажения, вносимые усилительным ВЧ-модулем для заявленных рабочих режимов:

$$CSO_{УС} = -12 \lg(10^{-CSO_R/12} - 10^{-(74+P_C)/12}), \quad (2.25)$$

$$CTB_{УС} = -18 \lg(10^{-CTB_R/18} - 10^{-(80+P_C)/18}). \quad (2.26)$$

Следовательно, искажения ($CSO_{УС}$ и $CTB_{УС}$), вносимые усилительным ВЧ-модулем, определяются как разность между искажениями, вносимыми оптическим приемником в целом и оптическим детектором. Это справедливо для условий эксплуатации, оговоренных в спецификации.

Уровень выходного сигнала зависит как от входной оптической мощности, так и от реализуемого индекса оптической модуляции m , который может отличаться (иногда и существенно) от справочного значения m_C , для которого заявлена справочная величина уровня выходного сигнала U_C . Таким образом, в реальных условиях эксплуатации $U_{ВЫХ}$, дБмкВ определяется выражением

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_C + 2(P_C - P_{\text{ВХ}}) + 20\lg(m/m_c). \quad (2.27)$$

Уровень выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$ может устанавливаться как вручную, за счет вводимого межкаскадного ослабления, так и за счет использования АРУ. Для расчета важна сама величина устанавливаемого выходного уровня вне зависимости от реализуемого индекса оптической модуляции или уровня входной оптической мощности. Таким образом, искажения, возникающие в оптическом приемнике (CSO_R и CTB_R) определяются формулами

$$CSO_R = -12\lg(10^{-CSO_{\text{фд}}/12} + 10^{-(CSO_{\text{yc}}+U_C-U_{\text{ВЫХ}})/12}), \quad (2.28)$$

$$CTB_R = -18\lg(10^{-CTB_{\text{фд}}/18} + 10^{-(CTB_{\text{yc}}+2U_C-2U_{\text{ВЫХ}})/18}). \quad (2.29)$$

Число транслируемых каналов N в СКТ, как правило, отличается от справочного значения N_C и учитывается в искажениях как оптического приемника, так и ВЧ выходного усилителя в соответствии с уравнением

$$\Delta CSO_N = CSO + K \cdot \lg(N_C / N), \quad (2.30)$$

$$\Delta CTB_N = CTB + 10\lg(N_C / N). \quad (2.31)$$

В формуле (2.30) коэффициент K зависит от схемотехнического исполнения выходного каскада и лежит в пределах 2,8...5 в соответствии с [18]. Для большинства схем типовое значение коэффициента K составляет 4,2.

Необходимо также отметить, что производители часто заявляют искажения (CSO и CTB) для конкретной величины межкаскадного эквалайзера – \mathcal{E}_C . Если при проектировании необходимо использовать оптический приемник при другой величине эквалайзера – \mathcal{E} , то искажения в ВЧ выходном усилителе изменяются на величину

$$\Delta CSO_{\mathcal{E}} \approx CSO + 0,35(\mathcal{E} - \mathcal{E}_C), \quad (2.32)$$

$$\Delta CTB_{\mathcal{E}} \approx CTB + 0,7(\mathcal{E} - \mathcal{E}_C). \quad (2.33)$$

Конечные выражения для расчета искажений оптического приемника с учетом вышеизложенных формул записываются в соответствии с [18]:

$$CSO_R = -12\lg(10^{-(CSO_{\text{фд}}+A)/12} + 10^{-(CSO_{\text{yc}}+A+B)/12}), \quad (2.34)$$

$$CTB_R = -18\lg(10^{-(CTB_{\text{фд}}+C)/18} + 10^{-(CTB_{\text{yc}}+C+2B)/18}), \quad (2.35)$$

где $A = 4,2\lg(N_C / N)$; $C = 10\lg(N_C / N)$; $B = U_C - U_{\text{ВЫХ}} + 0,35(\mathcal{E} - \mathcal{E}_C)$.

Искажения в оптической системе (передатчик, усилитель и приемник) рассчитываются согласно формулам (2.17), (2.18).

При каскадировании двух оптических систем (двойное оптическое преобразование) суммарные искажения накапливаются по законам, определяемым по формулам

$$CSO_{\Sigma} = -10\lg(10^{-CSO_1/10} + 10^{-CSO_2/10}), \quad (2.36)$$

$$CTB_{\Sigma} = -20\lg(10^{-CTB_1/20} + 10^{-CTB_2/20}), \quad (2.37)$$

т. е. при каскадировании двух идентичных оптических систем CSO понижается на 3 дБ, а CTB – на 6 дБ.

2.8 Расчет коаксиального кластера распределительной сети

Входными параметрами коаксиального участка КРС являются параметры C/N , CTB , CSO , $U_{ВЫХ}$ на нижней и верхней частотах, рассчитанные по известным значениям C/N_G , CTB_G , CSO_G головной станции и C/N_Σ , CTB_Σ , CSO_Σ оптической системы. Используя выражения в соответствии с [5], можно написать уравнение

$$C/N = -101g \left[10^{-0,1 \cdot C/N_G} + 10^{-0,1 \cdot C/N} \right], \quad (2.38)$$

$$CSO = -101g \left[10^{\frac{CSO_G}{10}} + 10^{\frac{CSO_\Sigma}{10}} \right], \quad (2.39)$$

$$CTB = -201g \left[10^{\frac{CTB_G}{20}} + 10^{\frac{CTB_\Sigma}{20}} \right]. \quad (2.40)$$

Исходя из необходимой протяженности линий связи (L) и имеющейся номенклатуры оборудования и кабелей, выбираются типы усилителей, ответвителей и коаксиальных кабелей. На основании параметров выбранных устройств и мест их установки определяется число усилительных участков (n) на линии максимальной протяженности. Для этого определяются полные потери на проектируемом участке на верхней частоте рабочего диапазона, которые состоят из затухания в кабеле $S_{каб} = \alpha(\text{дБ/км}) \cdot L$ и потерь на ответвителях и других пассивных элементах $S_{нас}$:

$$n = \frac{S_{каб} + S_{нас}}{K} - 1, \quad (2.41)$$

где K – коэффициент усиления выбранного усилителя.

Полученное число усилительных участков округляется до большего значения, поскольку в противном случае усиление на участке окажется несколько меньше потерь в нем, и они не будут полностью скомпенсированы.

Определив среднюю длину усилительного участка, производят расчет конкретных длин участков по фактическому месту установки усилителей. Как правило, длины участков должны быть приблизительно одинаковы, а усилители – однотипны. Это упрощает расчет, настройку и эксплуатацию коаксиального кластера.

От оптического узла последовательно осуществляется расчет каждого участка по затуханию на верхней и нижней частотах, и определяются уровни сигналов на выходе усилительных участков на верхней и нижней частотах.

Проводится расчет диаграммы уровней в следующей последовательности:

– определяется значение аттенюаторов и эквалайзеров на входе усилителя, как разность выходных уровней на верхней и нижней частотах и осуществляется их выбор;

– рассчитываются уровни сигналов верхнего и нижнего каналов на входе и выходе усилителя с учетом наличия эквалайзера, аттенюатора, диплексера и т. д.;

– рассчитывается соотношение несущая/шум на верхней и нижней частотах каждого участка по формуле

$$C/N_l = -2,4 + U_{Bxl} - F_{\alpha l}, \quad (2.42)$$

где l – номер участка;

U_{Bxl} – входной уровень нижнего или верхнего канала, дБмкВ;

$F_{\alpha l} = (0,2 - 0,3)(\alpha_{Al} + \alpha_{\alpha l}) + F, \text{ дБ}$; здесь $\alpha_{Al}, \alpha_{\alpha l}$ – затухание межкаскадного аттенюатора и предыскажающего эквалайзера l -го усилителя в соответствии с [19], дБ;

F – коэффициент шума усилителя, дБ.

Определяем эффективный выходной уровень усилителей по следующей формуле:

$$U_{Bxl} = 10 \lg \left[\frac{10^{1 + \frac{U_B}{10}}}{2,3 \Delta} \cdot \left(1 - 10^{\frac{\Delta}{10}} \right) \right], \quad (2.43)$$

где U_B – уровень верхнего канала на выходе усилителя, дБмкВ;

Δ – наклон АЧХ-эквалайзера, дБ.

Примечание: не рекомендуется установка межкаскадного эквалайзера с глубиной эквалайзирования более 9...12 дБ.

По рассчитанному уровню U_{Bxl} определяют значения CSO и CTB на выходе усилительного участка по следующим формулам:

$$CSO_l = 60 + (U_{\max CSO} - U_{Bxl}) + 4,31 \lg \frac{N_c}{N}, \quad (2.44)$$

$$CTB_l = 60 + 2(U_{\max CTB} - U_{Bxl}) + 10 \lg \frac{N_c}{N}, \quad (2.45)$$

где N_c – справочное значение количества каналов (обычно $N_c = 42$);

$U_{\max CSO}, U_{\max CTB}$ – максимальное значение выходного уровня при $CSO = 60$ и $CTB = 60$.

Используя выражения, аналогичные (2.38), (2.39), (2.40), рассчитываются значения $C/N_{Bxl}, CSO_{Bxl}, CTB_{Bxl}$ на выходе УД и сравниваются с требованиями, изложенными в СТБ 1662 [1]. Необходимо обеспечить технологический запас не менее 3 дБ на рассчитанные значения, учитывающие нестабильность реальных уровней сигналов, зависящих от установки и климатических воздействий.

Определим необходимость использования в магистральной линии усилителей с АРУ и наклона АЧХ. Расчет системы должен производиться из условия обеспечения заданных параметров в диапазонах рабочих температур от минус

40 °С до плюс 50 °С (при прокладке линий на открытом воздухе) и примерно от плюс 6 °С до плюс 15 °С (при прокладке линий в кабельной канализации).

Коэффициент затухания коаксиального кабеля α_t в дБ при рассматриваемой температуре t определяется зависимостью

$$\alpha_t = \alpha_{20} [1 + (\Delta t \cdot K_t)], \quad (2.46)$$

где α_{20} – коэффициент затухания кабеля в дБ при температуре плюс 20 °С;

$\Delta t = (t - 20)$ °С – разница в температурах;

$K_t = (1,8 \dots 2,2) \cdot 10^{-3}$ – температурный коэффициент затухания, 1/град.

Допустимая величина годовых изменений уровня сигнала и наклона АЧХ на абонентском отводе должна быть не более 3 дБ.

По рассчитанному значению выходного уровня УД и минимальному уровню на выходе абонентского отвода определяется допустимое затухание в линиях домовой распределительной сети (ДРС).

При определении минимального уровня на выходе абонентского отвода следует иметь в виду, что его расчетное значение не рекомендуется принимать менее 66 дБмкВ даже в тех случаях, когда не предполагается активизация ОК и количество каналов прямого направления не более 20.

Однако при многочастотном воздействии и активизации ОК может потребоваться установка в ДРС абонентских ответвителей и абонентских розеток с более жесткими параметрами по развязке между отводами и встроенными фильтрами ОК. Поэтому рекомендуемая величина уровня сигнала на выходе абонентского ответвителя должна быть 74...76 дБмкВ в соответствии с [20].

С учетом найденного значения затухания в линиях выбирается структура и рассчитывается ДРС.

При совместном распределении в РС аналоговых и цифровых телевизионных радиосигналов требования к параметрам радиосигналов изображения в различных точках линейного тракта остаются теми же, что и для полностью аналоговой РС.

Для выполнения требований к параметрам радиосигналов изображения в различных точках линейной сети максимальный фактический уровень напряжения радиосигналов цифрового телевизионного вещания должен быть на 7...8 дБ меньше максимального уровня напряжения радиосигнала аналогового телевизионного вещания в соответствии с [21] и [22].

Снижение фактического уровня напряжения цифровых радиосигналов относительно уровня радиосигналов изображения приводит к уменьшению отношения радиосигнала цифрового телевизионного вещания к шуму. При обеспечении требования по отношению радиосигнала изображения к шуму на выходе абонентской розетки (не менее 43 дБ) в случае частотно-независимого характера коэффициента шума активных устройств, величина отношения радиосигнала цифрового телевизионного вещания к шуму составит не менее 33...36 дБ, что удовлетворяет требованиям по защищенности (не менее 31 дБ). Поэтому расчета для цифровых телевизионных каналов и передачи данных не требуется.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОБРАТНОГО КАНАЛА ГИБРИДНОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

3.1 Выбор топологии организации обратного канала

Магистральные оптические линии связи строятся, как правило, в виде двух однонаправленных линий передачи – линии прямого канала и линии ОК. Это обусловлено тем, что экономически и технически более выгодно заложить при строительстве дополнительное волокно в кабеле, чем использовать двунаправленную передачу по одному волокну. Двунаправленная передача по одному волокну экономически выгодна, тогда когда стоит выбор – прокладка новых кабелей или более полное использование уже проложенных.

Оптическая линия прямого канала транслирует, как правило, сигналы с полосой 47...862 МГц от ГС в сторону абонента, а линия ОК – сигналы с полосой 5...200 МГц от абонента в сторону ГС. Большая ширина полосы ОК объясняется тем, что вследствие высокой широкополосности оптических линий связи искусственное уменьшение полосы сигналов почти не дает экономии.

Коаксиальный участок сети традиционно строится по однокабельной двунаправленной схеме, т. к. считается, что прокладка второго кабеля приводит к удорожанию сети.

В сети, построенной по однокабельной двунаправленной схеме, сигналы прямого канала с оптического приемника поступают на магистральный усилитель, затем, пройдя через несколько магистральных усилителей (обычно не более 3), поступают на УД и далее через ДРС к абонентам. Сигналы ОК проходят этот путь в обратном направлении от абонентов до оптического передатчика ОК в сторону ГС. Такой принцип построения коаксиальной сети имеет следующие недостатки:

- так как основной услугой СКТ считается телевизионное вещание, то под него отводится основная часть частотного спектра, находящаяся в наиболее удобном диапазоне частот – 47...862 МГц. Для ОК отведен диапазон частот 5...30 МГц. Такая полоса частот ОК обычно недостаточна, кроме того, она находится в области с большой насыщенностью электромагнитными помехами, особенно диапазон 5...15 МГц, который считается малоприспособленным для надежного высокоскоростного доступа;

- усложнение усилителей – ввод в них частотных диплексеров – снижает их динамический диапазон, что приводит к общему удорожанию системы;

- вследствие необходимости использования частотных диплексеров, полоса частот 30...47 МГц выпадает из использования как для прямого, так и ОК;

- в двунаправленных усилителях присутствует сигнальная петля: усилитель прямого канала – диплексер – усилитель ОК – диплексер. Требования по обеспечению устойчивости такой петли накладывают ограничения на входящие в нее элементы, поэтому невозможно выбрать оптимальные коэффициенты усиления для усилителей прямого и обратного каналов. Это приводит к умень-

шению числа абонентов, обслуживаемых одним усилителем, ухудшению отношения сигнал/помеха в ОК и общему удорожанию системы;

– ОК и абонентская сеть накапливают помехи от всех абонентов, подключенных к нему. Чтобы подавить помехи для обеспечения работоспособности ОК, потребуется установить фильтры-пробки обратного канала на большинство абонентских отводов (до 90 % абонентов), не использующих услуг ОК. Установка таких фильтров-пробок увеличит затраты на каждого абонента сети. При этом, т. к. абонент не заинтересован в этой работе, затраты полностью лягут на кабельного оператора;

– построенная по такой схеме сеть имеет слабую защищенность на абонентском участке. Существует возможность преднамеренного или непреднамеренного вывода из строя всего ОК или его части сигналом помехи, введенным с любого абонентского отвода.

Операторы кабельного телевидения в Республике Беларусь используют полосу ОК для интерактивных услуг 5...30 МГц. Прямые каналы телевизионного вещания в РС СКТ Республики Беларусь начинаются с частоты 49,75 МГц. Однако при проектировании необходимо учитывать возможное расширение ОК до 65 МГц и закладывать усилители ОК со сменными диплексерами, рассчитывая, что, в случае принятия решения о расширении полосы обратного канала, оператор заменит диплексеры с полосой обратного канала 5...30 МГц на диплексеры с полосой обратного канала 5...65 МГц. С учетом сказанного, расчет ОК следует вести для полосы 5...65 МГц.

Основной проблемой использования однокабельного построения коаксиального участка является проблема накопления помех от абонентской разводки. Основной вклад в мощность шумов по обратному каналу вносят шумы ингрессии (от бытовых электроприборов). Радикальным способом борьбы с шумами ингрессии является использование кабелей с высоким коэффициентом радиозэкранной защиты (не менее 75 дБ в диапазоне обратного канала). Коэффициент радиозэкранной защиты является частотнозависимым, и его минимальная величина лежит именно в диапазоне обратного канала. Реализуемый коэффициент радиозэкранной защиты снижается с увеличением длины абонентского кабеля, с увеличением числа его изгибов и уменьшением их радиусов.

Для уменьшения шумов в ОК и повышения стабильности работы можно использовать в коаксиальной части гибридной интерактивной кабельной сети двухкабельную разводку ДРС.

В такой структуре на выходе УД не устанавливается диплексер и ДРС строится в виде двух идентичных стояков. Один из них используется для трансляции сигналов прямого канала в полосе частот 47...862 МГц, другой – для сбора сигналов ОК в полосе частот 5...30 МГц.

Недостаток двухкабельной разводки ДРС – увеличение затрат на ДРС, что ведет к общему увеличению затрат при строительстве РС СКТ на 4...6 %. Однако двухкабельная разводка ДРС обладает рядом преимуществ:

– исключается необходимость установки диплексеров на выходах УД, что увеличивает их выходной уровень, снижает стоимость и увеличивает число обслуживаемых абонентов;

– в УД разрывается петля: усилитель прямого канала – диплексер – усилитель обратного канала – диплексер. Это снимает необходимость согласовывать коэффициенты передачи усилителей для обеспечения их устойчивости. Коэффициенты усиления усилителей прямого и обратного каналов могут выбираться независимо и оптимизироваться каждый под свой канал передачи. Как следствие, такой УД сможет обслуживать на 20...30 % абонентов больше, одновременно обеспечивая улучшенное отношение сигнал/помеха в ОК;

– самое важное преимущество предлагаемой структуры – это возможность решить вопрос обеспечения работы ОК и предоставления дополнительных услуг, не ущемляя интересы абонентов. Это обеспечивается тем, что сигналы прямого канала получают все абоненты. Для прямого канала недостатки абонентской разводки влияют только на качество услуг для абонента, владеющего этой разводкой;

– так как к ОК подключается меньшее число абонентов, то это обеспечивает существенно лучшее отношение сигнал/помеха в обратном канале, что улучшает качество предоставляемых услуг;

– вследствие ограниченного числа абонентов, подключенных к линии ОК и простоты контроля таких подключений, существенно возрастает защищенность системы;

– вследствие физического разделения каналов отпадает необходимость в установке фильтров-пробок, что позволит сэкономить значительные средства;

– очень часто строительство интерактивных сетей ведется взамен существующих. В этом случае параллельно существующей разводке строится новая, на нее производится переключение абонентов, а старая разводка демонтируется. В случае строительства сети с двухкабельной разводкой старая ДРС может быть использована для передачи сигналов ОК. Такое решение позволяет практически сравнить стоимость строительства двухкабельной сети со стоимостью однокабельной.

Еще более широкими возможностями обладает интерактивная РС с коаксиальной частью, выполненной полностью по двухкабельной схеме, как домашней, так и магистральной. Такая кабельная сеть обладает всеми преимуществами предыдущего варианта, и, кроме того, имеет следующие дополнительные положительные свойства:

– так как прямой и обратный каналы полностью разделены, есть возможность использовать всю полосу обратного канала 5...200 МГц. Начинать эксплуатацию ОК можно в полосе 5...30 МГц для обеспечения совместимости с оборудованием однокабельных двунаправленных сетей. Затем при необходимости расширения полосы обратного канала следует использовать оборудование с более широкой полосой частот;

– во всех усилителях отсутствуют диплексеры, что уменьшает их стоимость и улучшает характеристики: коэффициент шума и максимальный выходной уровень сигнала;

– расширение полосы обратного канала позволяет строить интерактивную сеть, разбивая ее на кабельные сегменты, что также уменьшает стоимость системы;

– появляются дополнительные возможности для обеспечения защищенности и устойчивости такой сети от внешних преднамеренных и непреднамеренных воздействий.

Эффективным способом защиты от шумов ингрессии является использование коллективных кабельных модемов (ККМ), устанавливаемых на входе УД. При этом исключаются все абонентские шумы ингрессии за счет включения ответвителя с режекторным фильтром на входе УД.

ККМ необходимо включать через ответвитель с режекторным фильтром обратного канала, а не через простой абонентский ответвитель, т. к. уровень внеполосного излучения на выходе ККМ может вносить дополнительные помехи в некоторые телевизионные каналы.

Для исключения временных коллизий расстояние от ККМ до абонента (по витой паре) не должно превышать 100 м. Это накладывает определенные ограничения на данную схему. Для обслуживания удаленных абонентов, использующих абонентский кабельный модем (КМ), через традиционный сплиттер может быть подключен дополнительный усилитель с пассивным ОК.

Использование ККМ имеет те же достоинства что и топология, использующая двухкабельную разводку ДРС. Кроме того, использование ККМ имеет дополнительные достоинства:

– абоненты могут работать внутри ДРС без загрузки головной станции кабельных модемов (ГСКМ);

– выходной уровень ККМ используется полностью в магистральной сети, что уменьшает количество усилителей ОК и позволяет получить большее соотношение сигнал/шум.

К недостатку использования ККМ следует отнести невозможность предоставления отдельным абонентам гарантированного качества услуг, а также практическую невозможность защиты передачи информации.

Рассмотренные в разделе технические решения полностью совместимы с оборудованием и традиционными решениями, используемыми при строительстве гибридной интерактивной КРС. Кроме того, в пределах одной кабельной сети могут одновременно существовать участки, построенные, как по классической однокабельной, так и по любой другой технологии.

3.2 Определение полосы частот обратного канала

Частотный диапазон ОК согласно СТБ 1662 [1] составляет 5...30 МГц. Однако диапазон 5...65 МГц не запрещён к использованию [1]. При определении реальной полосы ОК необходимо учитывать следующее:

– в ОК наблюдаются значительные шумы ингрессии, которые наиболее интенсивно проявляются в диапазоне 5...15 МГц. В этом диапазоне шумы ингрессии, которые носят импульсно-временной характер и зависят от времени суток, могут равняться или даже превосходить по амплитуде сам исходный сигнал. Таким образом, нижняя частотная точка в ОК при наилучших условиях может составить 15 МГц;

– на границах частотного диапазона наблюдается спад АЧХ-усилителя ОК величиной 1...3 дБ, что зависит от качества используемого оборудования. Это обуславливает ухудшение коэффициента возвратных потерь, а также повышение неравномерности ГВЗ, в значительной степени проявляющейся при каскадировании усилителей. Следовательно, диапазон частот 26...30 МГц также не может быть использован на практике.

Из вышеизложенного следует, что, в лучшем случае, может быть использован ограниченный диапазон 15...26 МГц в соответствии с рисунком 3.1, в котором может разместиться не более трех каналов с полосой 3,2 МГц. Согласно же европейскому стандарту [23], под ОК выделен диапазон 5...65 МГц, в котором размещается 15 каналов с полосой 3,2 МГц (см. рисунок 3.1). В силу вышеизложенного, при построении новой сети или модернизации уже имеющейся, желательно сразу выделять диапазон 5...65 МГц или, по крайней мере, сразу проводить расчет на данный диапазон с последующей простой переустановкой модульных вставок ОК.

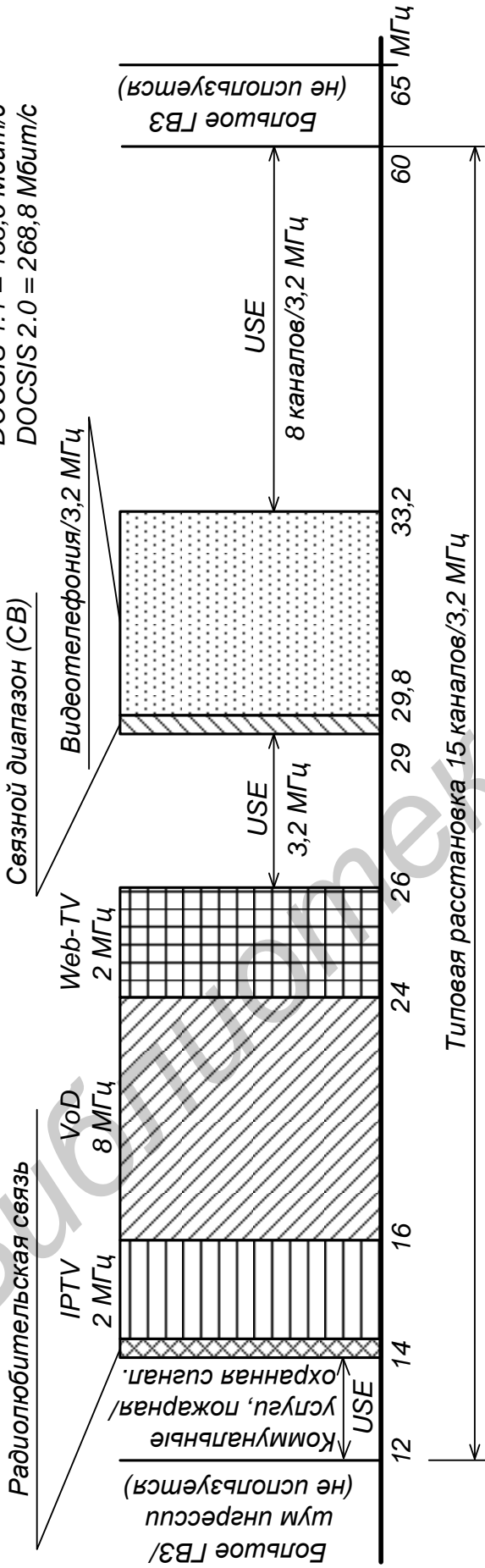
Необходимо учитывать, что на частоте 49,75 МГц в Республике Беларусь имеются значительные помехи от первого канала эфирного телевидения. Таким образом, при ОК 5...30 МГц для передачи данных расчетный диапазон составляет 12 МГц, а для диапазона ОК 5...65 МГц дополнительно можно использовать участки 31...46 МГц и 56...62 МГц, т. е. расчетный диапазон составляет 32 МГц. Часть диапазона около граничной частоты 30 МГц и 65 МГц использовать не рекомендуется из-за фазовых искажений диплексерного фильтра в области частоты среза, ведущих к появлению группового времени запаздывания и связанных с этим потерь пакетов данных. Следует заметить, что в ряде случаев (например при организации мониторинга), часть указанного диапазона может быть занята пилот-сигналом.

Европейское распределение

Суммарная скорость:

DOCSIS 1.1 = 153,6 Мбит/с

DOCSIS 2.0 = 268,8 Мбит/с

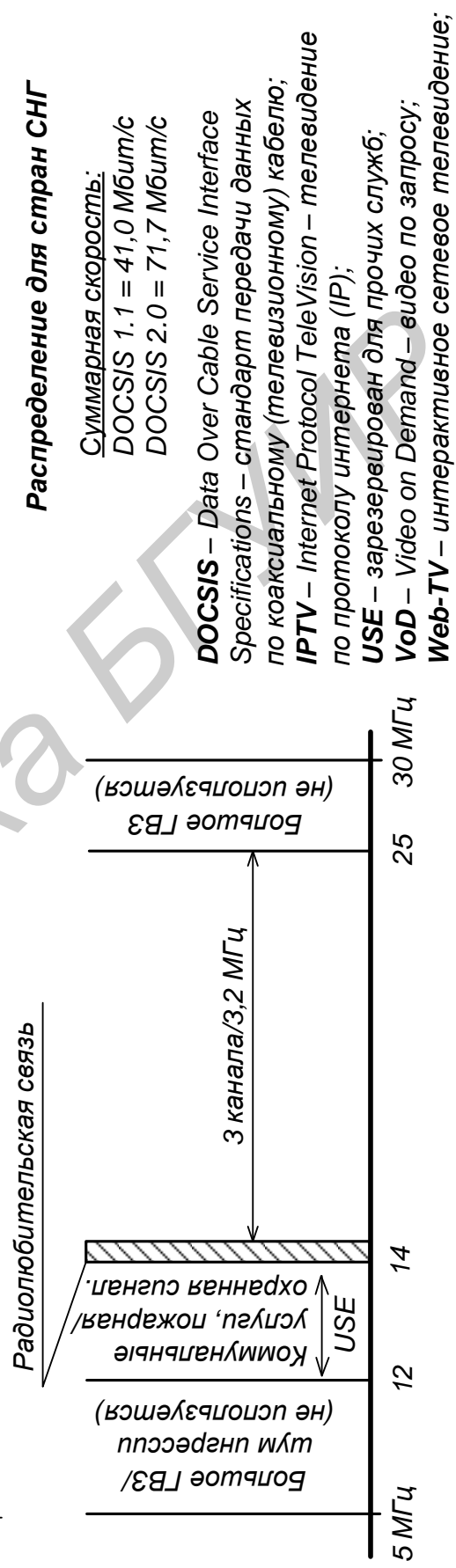


Распределение для стран СНГ

Суммарная скорость:

DOCSIS 1.1 = 41,0 Мбит/с

DOCSIS 2.0 = 71,7 Мбит/с



DOCSIS – Data Over Cable Service Interface Specifications – стандарт передачи данных по коаксиальному (телевизионному) кабелю;
IPTV – Internet Protocol TeleVision – телевидение по протоколу интернета (IP);
USE – зарезервирован для прочих служб;

VoD – Video on Demand – видео по запросу;

Web-TV – интерактивное сетевое телевидение;

Рисунок 3.1 – Распределение частотного диапазона обратного канала

3.3 Возможные пути увеличения скорости в оптическом обратном канале

Каждый из кластеров обслуживается ОУ, т. е. комбинацией оптического приемника прямого канала и передатчиками ОК в соответствии с [24].

При этом каждый из передатчиков нагружается на отдельный вход ГСКМ (максимально 10,24 Мбит/с на кластер). При недостаточном числе входов ГСКМ обратные каналы суммируются на единый вход ГСКМ (максимально 10,24 Мбит/с на группу кластеров). Следовательно, при этом снижается и C/N в ОК на $10\lg(n)$, где n – число входов ОК. Это вызывает автоматическое дополнительное снижение скорости за счет сужения полосы канала (например с 3,2 МГц на 1,6 МГц). Возможно также оптическое суммирование сигналов ОК, при этом оптические средние мощности должны быть одинаковыми при соответствующем индексе модуляции.

Некоторые ОУ имеют четыре независимых выхода и дополнительный оптический вход для формирования резервирования по направлениям. Такие ОУ не повышают скорость цифрового канала, т. к. все ОК суммируются на единый оптический передатчик ОК. Более предпочтительными являются универсальные ОУ, имеющие в своем составе до четырех (по числу независимых выходов) передатчиков ОК. В каждом из таких ОУ возможна установка произвольного числа (до четырех) приемников, выходных усилителей и передатчиков.

ОУ данного типа позволяют не менее чем в четыре раза (а с учетом снижения шумов и расширения полосы – значительно больше) увеличить скорости цифровых потоков в ОК. Если ВОЛС функционирует, то имеющийся ОУ дополняется внешними оптическими передатчиками ОК. Благодаря такому решению, коаксиальный кластер дробится на несколько частей (до четырех). Единственным недостатком такого решения является необходимость задействования дополнительных оптических волокон. При недостатке оптических волокон возможно использование диапазонных конвертеров (ДК), легко подключаемых к любому из традиционных ОУ и переносящих спектры отдельных каналов ОК на разные несущие.

Подключение ДК к имеющемуся ОУ возможно в том случае, если ОУ имеет в своем составе дополнительные входы ОК и передатчик ОК, работающий в диапазоне не менее 5...200 МГц. На приемной стороне (в составе головного оборудования) устанавливается аналогичный понижающий ДК, имеющий один вход в диапазоне 5...200 МГц и четыре выхода в диапазоне 5...30 МГц, подаваемых на отдельные входы ГСКМ в соответствии с [24].

Данное техническое решение позволяет не только повышать эффективность использования выделенного частотного ресурса ОК (например 5...30 МГц), но и повысить C/N в ОК не менее чем на 4...6 дБ (что очень существенно для ОК). Следует отметить, что такие решения возможны только в случае достаточности независимых приемников/демодуляторов, входящих в состав ГСКМ.

3.4 Расчетный выходной уровень абонентского кабельного модема

Выходной уровень КМ устанавливается по команде с ГСКМ (в зависимости от коэффициента передачи ОК) и может достигать 114 дБмкВ (16QAM) в соответствии с СТБ 1662. Важно отметить, что мощность тепловых шумов (КМ, оптической системы, усилителей) на входе ГСКМ практически не зависит от выходного уровня КМ. Но чем выше выходной уровень КМ, тем больше защитное отношение по отношению к шумам ингрессии, которые доминируют в суммарных шумах ОК.

Практика построения интерактивных КРС в соответствии с [24] показывает, что оптимальным выходным уровнем КМ является величина 100...105 дБмкВ, что эквивалентно суммарному коэффициенту передачи (от КМ до ГСКМ) – 40 ± 5 дБ. Такой технологический запас в 10 дБ необходим с учетом погрешностей проведенных расчетов, воздействия дестабилизирующих факторов (прежде всего, температуры) и, самое главное, – запаса на старение самой сети.

3.5 Расчет обратного канала

Расчет ОК в основном сводится к расчету C/N , CTB , CSO и уровней сигналов в верхней точке диапазона ОК. При этом уровни входных сигналов усилителей ОК должны быть в пределах 75...85 дБмкВ. Выходные же уровни усилителей ОК устанавливают с учетом их обязательного равенства на входе любого магистрального ответвителя.

Исходными данными к расчету C/N обратного канала являются:

- C/N оптической системы (передатчик-приемник ОК);
- C/N кабельного модема;
- защитное отношение кабельного модема;
- число кабельных модемов в кластере;
- полоса частот канала;
- число абонентов в сети;
- приведенный динамический диапазон усилителей ОК (при расчетах берется наихудший случай);
- число усилителей ОК (усилители с пассивной вставкой ОК не учитываются).

При расчете ОК следует учитывать рекомендации [24]:

1) все вновь строящиеся РС СКТ целесообразно сразу проектировать с возможным внедрением интерактивных услуг, т. е. с полным расчетом ОК. В противном случае, без расчета ОК и определения способов подключения КМ, в дальнейшем потребуются повторные затраты на проведение проектных работ и, возможно, на частичную переконфигурацию уже построенной сети;

2) наибольшее распространение для внедрения услуг интерактивного сервиса получил стандарт DOCSIS;

3) при выборе ГСКМ основное внимание следует уделять как ее техническим параметрам, так и функциональным возможностям и, в первую очередь, числу устанавливаемых приемников/демодуляторов ОК, надежности, удобству выявления коллизий или отказов, фиксации и регистрации ошибок в сети и т. д.;

4) для включения КМ целесообразно использовать специализированные абонентские розетки с развязкой более 55 дБ, исключающие поражение некоторых телевизионных каналов воздействием гармонических составляющих мощного выходного сигнала КМ. Аналогичное подключение целесообразно использовать и при подключении с КМ. В простейшем случае можно использовать традиционный направленный ответвитель с коэффициентом направленности не менее 36 дБ;

5) ДРС целесообразнее выполнять по схеме «звезда» (вместо традиционной «лестницы»). Такая схема наиболее просто и экономично позволяет устанавливать фильтры пакетирования (группа платных ТВ-каналов), повышать защиту от актов вандализма, снижать уровень входного сигнала, обеспечивать защиту от шумов ингрессии и максимально выравнять уровни сигналов. Недостатком такой схемы является большое число кабелей, прокладываемых в одном стояке;

б) максимизировать соотношения C/N по ОК, для чего необходимо:

- использовать ККМ, включаемые на входах УД;
- разбивать коаксиальный кластер на несколько зон, каждая из которых должна включаться на свой оптический передатчик ОК;
- использовать КМ на повышенных мощностях (но не предельных);
- применять кабели с высоким коэффициентом радиоэкранной защиты, использовать качественные кабельные насадки и коаксиальные переходы;

7) при проведении проектных работ необходимо задаваться минимальным уровнем сигнала на выходе любого из абонентских ответвителей – 70...72 дБмкВ, что позволяет подключить один-два телевизора или один телевизор и КМ. Желательным уровнем является 74...76 дБмкВ; это позволяет включать до трех телевизоров и КМ. Допустимо проектировать сеть с уровнем 68...70 дБмкВ на выходе абонентских ответвителей, а часть дополнительных расходов перенести на самих абонентов, за счет включения внутриквартирных активных сплиттеров с малым коэффициентом усиления;

8) реально используемый частотный диапазон ОК 5...30 МГц составляет 15...26 МГц. В нем можно разместить не более 3 каналов с полосой 3,2 МГц без каких-либо технологических запасов;

9) вновь строящуюся РС желательно изначально проектировать на диапазон частот 5...65 МГц. На начальном этапе можно использовать и ограниченный диапазон 5...30 МГц за счет установки соответствующих диплексерных фильтров в модуль ОК. В последующем это позволит избежать проведения повторных перерасчетов по ОК;

10) на все вновь строящиеся РС должен проводиться расчет ОК, включая расчет предполагаемых скоростей цифровых потоков. Однако сам ОК на начальном этапе может быть и не активизирован;

11) шумы на входе ГСКМ образуются двумя составляющими: шумами ингрессии (основная составляющая) и внутренними шумами сети. Шумы ингрессии не поддаются расчету, но зависимость их появления от времени суток может быть частично выявлена путем мониторинга сети или на основе имеющегося опыта эксплуатации подобных сетей.

Внутренние шумы включают тепловые и интермодуляционные шумы различного происхождения. Их величина зависит от числа модемов, числа усилителей ОК в коаксиальном кластере, их приведенного динамического диапазона, нелинейности всех компонентов ОК, полосы пропускания канала, а также от характеристик оптической системы и способа ее подключения по входу приемника/демодулятора ГСКМ;

12) наращивание скоростей в ОК за счет увеличения числа оптических передатчиков ОК требует наличия дополнительных оптических волокон или использования WDM уплотнения. При отсутствии такой возможности, возможно использование диапазонных конвертеров ОК. На передающей стороне (совместно с ОУ) устанавливается повышающий конвертер, имеющий несколько входов и один общий выход, а на приемной стороне (на входах ГСКМ) – понижающий конвертер, имеющий один вход и несколько выходов;

13) оптимальная величина рабочего выходного уровня абонентского КМ, принимаемая к расчетам, должна составлять 100...105 дБмкВ. Технологический запас 10...14 дБмкВ учитывает погрешности расчетов, реальные разбросы параметров абонентских ответвителей, возможность изменения подключения КМ (например, через дополнительный сплиттер), старения сети и воздействия дестабилизирующих факторов (в первую очередь, температуры). Чем выше выходной уровень КМ, тем выше защита от шумов ингрессии;

14) при использовании усилителей ОК с выходным уровнем менее 10 дБ относительно максимального значения, заявляемого в паспортных данных, расчеты на интермодуляционные искажения можно не проводить в виду их незначительности даже при большом числе каналов. Фактически это означает, что максимальный выходной уровень усилителя ОК должен составлять 114...118 дБмкВ;

15) каждая из этих шумовых составляющих рассчитывается отдельно до входа ГСКМ (данные виды шумов некоррелированы между собой), после чего, при известном уровне выходного сигнала (от КМ), рассчитывается C/N .

3.6 Расчет уровня сигнала в обратном канале

Принимаем верхнюю точку диапазона ОК равной 30 МГц (для стандартной РС СКТ в соответствии с СТБ 1662) или 60 МГц (для диапазона ОК 5...65 МГц). Оптимальный уровень сигнала прямого канала на абонентском отводе в

интерактивной ДРС равен 74...76 дБмкВ в соответствии с [24]. Принимаем к расчету среднее значение $U_{аб.отв.опт.инт} = 75$ дБмкВ в верхней точке диапазона ОК.

Рассчитываем затухание ДРС – $a_{\Sigma ДРС}$ (от абонентского отвода до выхода УД) в каждой ДРС, при выходных уровнях радиосигнала усилителей прямого канала $U_{вых.УД}$ по формуле

$$a_{\Sigma ДРС} = U_{вых.УД} - U_{аб.отв.опт.инт}, \text{ дБ.} \quad (3.1)$$

Примечание – Возможен прямой расчет потерь в ДРС в обратном направлении.

Определяем максимальный выходной уровень кабельного модема, подключенного к любому абонентскому отводу ДРС (без учета установок специализированных ответвителей и абонентских розеток с встроенными режекторными фильтрами ОК) по формуле

$$U_{вых.КМ} = U_{вх.ОК.УМ} + a_{\Sigma ДРС} + a_{\Sigma ОМ+маг.каб} - k_{ус.ОК.УД}, \text{ дБмкВ,} \quad (3.2)$$

где $U_{вх.ОК.УМ}$ выбирается из диапазона 75...85 дБмкВ;

$a_{\Sigma ОМ+маг.каб}$ – общее затухание сигнала ОК от выхода домового усилителя ОК до входа последнего магистрального усилителя ОК в магистрали;

$k_{ус.ОК.УД}$ – усиление УД обратного канала, дБ.

Рассчитывается диаграмма уровней коаксиального сегмента ОК с учетом выбранных магистральных усилителей ОК, потерь в магистральном кабеле, равенства сигналов ОК в точках объединения и входного уровня ОК оптического узла (расчет входного уровня ОК приведен ниже).

Рассчитываются потери от кабельного модема до ОУ на нижней и верхней частотах ОК и определяется необходимость выравнивания частотной характеристики ОК. Неравномерность не должна превышать 10 дБ в соответствии с СТБ 1662. При необходимости выбираются корректоры и намечаются места их установки.

3.7 Расчет входного уровня сигнала на оптическом передатчике обратного канала

Существенное отклонение уровня сигнала на входе оптического передатчика в сторону увеличения приводит к появлению интермодуляционных искажений и даже к появлению эффекта клиппирования лазера, что значительно снижает показатель ошибок BER (bit error rate). Отклонение в сторону уменьшения снижает отношение C/N , что также ведет к потере данных.

Наиболее часто для расчета уровня сигнала используется параметр «плотность мощности», численно выражаемый в виде отношения дБмкВ/Гц в соответствии с [25]. Например, если полная мощность на лазере равна $U_{ОК}$ дБмкВ, а используемая полоса частот составляет Π (Гц), то плотность мощности составит

$$U_{OK} - 10 \lg (П(\Gamma\text{ц})) = -U_{II}, \text{ дБмкВ} / \Gamma\text{ц}. \quad (3.3)$$

Уровень сигнала, занимающего полосу частот 3,2 МГц, определяется как

$$-U_{II} + 10 \lg (3\,200\,000) = U_{3,2}, \text{ дБмкВ}. \quad (3.4)$$

Таким должен быть уровень сигнала на входе передатчика от одного из источников интерактивных услуг при условии, что оставшийся частотный диапазон занят сигналами других видов услуг (или будет занят в дальнейшем). При расчете ОК имеет значение уровень сигнала на входе порта ОУ. Он будет больше на величину затухания, имеющегося в тракте от порта до передатчика.

Если в паспорте на передатчик ОК имеется следующая запись: $-1,5$ дБмВ 23 к. – 1,5 МГц QPSK, то это означает, что уровень сигнала от ОК на входе оптического передатчика должен составлять $-1,5$ дБмВ при одновременном наличии 23 сигналов, каждый из которых занимает полосу частот 1,5 МГц и имеет модуляцию QPSK.

Чтобы определить полную мощность, необходимо сделать перерасчет с учетом количества сигналов и их уровня:

$$U = 10 \lg N + (-1,5) = 12,1 \text{ дБмВ}, \quad (3.5)$$

где N – число каналов.

Иногда производитель специфицирует уровень сигнала (или нескольких сигналов одного вида) и занимаемую им (ими) полосу частот. В этом случае полная мощность сигнала может быть определена через плотность мощности. Для примера возьмем в качестве исходных данных уровень рассмотренного выше сигнала и занимаемую этим сигналом полосу частот: $-1,5$ дБмВ 23 к. – 1,5 МГц QPSK.

Находим плотность мощности как

$$-1,5 - 10 \lg(1\,500\,000) = -63,2 \text{ дБмВ} / \Gamma\text{ц}. \quad (3.6)$$

Исходя из того, что все 23 сигнала занимают полосу частот 34,5 МГц, можно найти полную мощность

$$-63,2 + 10 \lg(34\,500\,000) = 12,1 \text{ дБмВ}. \quad (3.7)$$

При наличии в ОК одновременно множества сигналов с модуляцией QPSK или QAM, их спектр начинает приближаться к спектру белого шума. Для белого шума вероятность возникновения пиков мощности, на 15 дБ превышающих среднюю мощность, составляет 10^{-8} . Реально максимальные пиковые значения суммарного сигнала могут превышать средние значения на 6...10 дБ и представлять определенную опасность, но поскольку такие пики амплитуды появляются очень редко и, к тому же полная мощность, как правило, меньше предельной примерно на те же 6...10 дБ, то этой опасностью можно пренебречь.

3.8 Определение индекса оптической модуляции в обратном канале

При расчете C/N необходимо определить не только расчетный уровень сигнала на входе передатчика, но и допустимую при этом глубину модуляции сигнала $ОМІ$. Это связано с тем, что выходной уровень радиочастотного сигнала приемника ОК зависит как от уровня принимаемой мощности оптического сигнала, так и от глубины его модуляции, что определяет производитель оборудования. Например, приемник ОК фирмы C-COR HX6213RX обеспечивает на выходе уровень радиочастотного сигнала 35 дБмВ при оптической мощности минус 11 дБм и глубине модуляции 8 % в соответствии с [25]. Часто производители оборудования представляют эти зависимости графически, где выходной радиочастотный сигнал является функцией оптической мощности при некоторых фиксированных значениях $ОМІ$.

Максимальная глубина модуляции оптического сигнала передатчика получается при подаче на его вход сигнала полной мощности. Для DFB-лазера максимальная величина $ОМІ$ составляет 34 %, а для лазера Фабри–Перро – 50 %. Иногда полная мощность сигнала паспортизируется для пониженного значения глубины модуляции, например 16 %. При наличии нескольких сигналов значение максимальной глубины модуляции $ОМІ$ распределяется между ними.

В общем случае уравнение, связывающее параметры двух сигналов и позволяющее вычислить один параметр ($ОМІ$ или уровень сигнала U) по известным остальным трем параметрам, выглядит следующим образом (согласно [25]):

$$20\lg(ОМІ_2/ОМІ_1) = (U_2 - U_1), \quad (3.8)$$

где $ОМІ_1$ и U_1 – индекс оптической модуляции и уровень одного сигнала;
 $ОМІ_2$ и U_2 – индекс оптической модуляции и уровень другого сигнала.

Представленное уравнение справедливо и для случая, когда одним из сигналов является сигнал полной мощности.

3.9 Расчет потерь в оптическом тракте обратного канала. Выбор оптических приемных и передающих модулей

Расчет оптического тракта ОК и ВОЛС системных параметров C/N , CSO , CTB осуществляется так же, как и прямого в соответствии с разделом 2 с учетом входных уровней оптического передатчика и индекса модуляции, определяемых в подразделах 3.7 и 3.8 соответственно.

Поскольку в ОК используется обычно рекомендованная пара приемник/передатчик, возможно использование для оценки системных параметров паспортных данных фирмы производителя.

3.10 Расчет интермодуляционных искажений в обратном канале коаксиального сегмента

Интермодуляционные искажения коаксиального сегмента ОК являются функцией количества усилителей, через которые действительно проходит сигнал в соответствии с [5]. Поэтому параметры CSO , STB в ОК рассчитываются тем же способом, как и для прямого направления передачи в соответствии с подразделом 2.7. При этом следует учитывать выходные уровни сигналов, канальную нагрузку и выходные спецификации усилителей.

Если выполняется условие подраздела 3.5, пункт 14, расчеты по STO и STB в ОК можно не проводить.

3.11 Расчет отношения несущая/шум в обратном канале

В расчете шумов ОК следует учитывать не только шумы от тех усилителей, через которые проходит сигнал ОК, но также и шумы, вносимые всеми усилителями обратного направления. Расчет основан на определении шума эквивалентного усилительного каскада в соответствии с [5]:

$$N_{ЭКВ} = \sqrt{n \cdot m}, \quad (3.9)$$

где $N_{ЭКВ}$ – число усилителей в эквивалентном каскаде;

n – общее число усилителей в сегменте;

m – число усилителей в самом длинном каскаде.

Число m должно соответствовать самому длинному каскаду в системе, так как необходимо ориентироваться на худший случай. При известном коэффициенте шума отдельного усилителя обратного канала и уровне сигнала на входе, определяется соотношение C/N_{OKN} на входе ОУ от каждого сегмента, подключенного к ОК оптического узла по формуле суммирования, например по формуле (2.38).

Приведенный динамический диапазон усилителя ОК определяется по формуле в соответствии с [24]:

$$C/N_{OKN} = U_{BX} [\text{дБмкВ}] - F [\text{дБ}] + 5,2 - 10 \lg \Pi [\text{МГц}], \quad (3.10)$$

где U_{BX} – уровень входного сигнала;

F – коэффициент шума усилителя ОК;

Π – полоса пропускания ОК.

Каскад из $N_{ЭКВ}$ будет создавать шум, определяемый в соответствии с [5]

$$C/N_{\Sigma} = C/N_{OKN} - 10 \lg N_{ЭКВ}. \quad (3.11)$$

Определив C/N_{Σ} на входе ОУ от одного сегмента, находим соотношение несущая/шум от всех подключенных сегментов, используя выражение (2.38).

Затем определяем соотношение несущая/шум на входе ГСКМ, используя то же выражение.

В соответствии с СТБ 1662 [таблица 5.1], отношение радиосигнала с цифровой модуляцией к интегральному шуму или к одночастотной помехе в канале обратного направления должно быть не менее 25 дБ, при наклоне АЧХ в полосе ОК – не более 10 дБ. Необходимо также обеспечить запас в 6 дБ для учета неточности расчета и отсутствия данных уровня шума ингрессии.

Для повышения точности расчета соотношения C/N на входе ГСКМ (при известных данных шумов ингрессии), следует пересчитать шумы ингрессии на вход оптического передатчика от каждого подключаемого к нему коаксиального кластера и, определив соотношение C/N_{II} , учесть его, используя формулу (2.38).

Библиотека БГУИР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии предложена методика расчета и проектирования гибридной системы кабельного телевидения, основанной на сопряжении оптических магистральных сетей доставки данных и коаксиальных КРС, допускающая различную глубину проникновения оптических технологий (вплоть до абонента). Организуемый таким образом тракт передачи обеспечивает работу СКТ в прямом (от ГС до абонента) и обратном направлениях, с целью распределения телевизионных программ (сигналов) и предоставления абонентам разнообразных интерактивных услуг, что реализуется с учетом требований по бюджету мощностей в оптическом сегменте сети, уровню и числу вводимых ТВ-сигналов в волокно, допускам по количеству межстанционных усилителей, параметров сопряжений ГС – оптическое волокно – коаксиальный кабель, допустимым уровням ОСШ, линейных и нелинейных искажений.

Библиотека БГУИР

ЛИТЕРАТУРА

- 1 СТБ 1662–2006 (ГОСТ Р 52023–2003). Сети распределительных систем кабельного телевидения. Основные параметры, технические требования, методы измерения и испытаний.
- 2 СНБ 1.03.02-96. Строительные нормы Республики Беларусь. Состав, порядок разработки и согласования проектной документации в строительстве.
- 3 Положение о порядке выдачи юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям разрешений Государственной инспекции Республики Беларусь по электросвязи Министерства связи и информатизации Республики Беларусь. Утверждено Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.09.2008, №1401.
- 4 Европейский стандарт EN 60728-5:2008. Системы кабельные распределительные для передачи телевизионных, звуковых сигналов и интерактивных услуг. Часть 5: Серверное оборудование.
- 5 Волков, С. В. Сети кабельного телевидения / С. В. Волков. – М., 2004.
- 6 Песков, С. Н. Критерии выбора головного оборудования при построении кабельных сетей коллективного телевизионного приема / С. Н. Песков, В. Г. Таценко, А. К. Шишов // Телеспутник. – 1999. – №4. – С. 54 – 59.
- 7 Рекомендации ITU-T G.694.1 (06/2002). Специальные решетки для спектрального разделения. Решетка DWDM (плотного спектрального мультиплексирования по длине волны DWDM) / Международный Союз Электросвязи. – Женева, 2002. – 14 с.
- 8 Рекомендации ITU-T G.694.2 (12/2003). Специальные решетки для спектрального разделения. Решетка CWDM (разреженного спектрального мультиплексирования по длине волны) / Международный Союз Электросвязи. – Женева, 2004. – 12 с.
- 9 Рекомендации ITU-T G.651 (07/2007). Характеристики 50/125 мкм многоканальных градиентных показателей оптического канала для оптической сети доступа / Международный Союз Электросвязи. – Женева, 2007. – 42 с.
- 10 Рекомендации ITU-T G.652 (11/2009). Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей / Международный Союз Электросвязи. – Женева, 2009. – 22 с.
- 11 Рекомендации ITU-T G.653 (12/2006). Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей со смещенной дисперсией / Международный Союз Электросвязи. – Женева, 2006. – 18 с.
- 12 Рекомендации ITU-T G.655 (11/2009). Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей с ненулевым дисперсионным смещением / Международный Союз Электросвязи. – Женева, 2009. – 18 с.
- 13 Гибридные кабельные сети с глубоким проникновением оптики (по материалам зарубежной прессы) // Телеспутник. – 2003. – №10. – С. 66 – 69.
- 14 Песков, С. Н. Критерии выбора оптических передатчиков для HFC-сетей / С. Н. Песков, И. А. Колпаков // Кабельщик. – 2007. – №11(25).

15 Песков, С. Н. Шумы в оптических сетях / С. Н. Песков // Телеспутник. – 2005. – №4. – С. 58 – 62.

16 Европейский стандарт EN 60728-6:2003. Системы кабельные распределительные для передачи телевизионных, звуковых сигналов и интерактивных услуг. Часть 6. Оптическое оборудование.

17 Песков, С. Н. Искажение в оптических сетях / С. Н. Песков, З. А. Зима, С. Ю. Колгатин // Телеспутник. – 2005. – №5. – С. 76 – 81.

18 Песков, С. Н. Искажение в оптических сетях часть 2: искажения в усилительно-приемных устройствах / С. Н. Песков, З. А. Зима, С. Ю. Колгатин // Телеспутник. – 2005. – №6. – С. 58 – 63.

19 Песков, С. Н. Рабочий выходной уровень усилителей в широкополосных телевизионных сетях. Часть 2. Системные расчеты / С. Н. Песков // Телеспутник. – 2004. – №4. – С. 62 – 66.

20 Шишов, А. К. Оптимальный уровень сигнала на выходе телевизионной абонентской розетки / А. К. Шишов, С. Н. Песков // Телеспутник. – 2000. – №3. – С. 64 – 65.

21 Бителева, А. Б. Цифровое кабельное телевидение. Часть 4: Сигнал DVB в распределительной сети. Использование альтернативных стандартов / А. Б. Бителева // Телеспутник. – 2008. – №1 – С. 86 – 91.

22 Отчет о научно-исследовательской работе «Проведение исследований и разработка норм для проектирования систем кабельного телевидения» (заключительный). – Минск : УП «Гипросвязь». – 2008.

23 Европейский стандарт EN 60728-1-2:2010. Системы кабельные распределительные для передачи телевизионных, звуковых сигналов и интерактивных услуг. Часть 1–2. Требования к рабочим характеристикам сигналов, передаваемых на выход системы в процессе эксплуатации. – 2010.

24 Песков, С. Н. Практические рекомендации по построению интерактивных мультимедийных кабельных сетей коллективного телевизионного приема. Часть 2: Реверсный канал / С. Н. Песков, А. К. Шишов // Телеспутник. – 2003. – №11. – С. 62 – 64.

25 Березиков, С. А. Расчет уровня сигнала на передатчике обратного канала / С. А. Березиков, В. Е. Рядчиков // Телеспутник. – 2004. – №1. – С. 56 – 59.

Учебное издание

Бунас Виталий Юрьевич
Стункус Юрий Борисович
Тарченко Надежда Владимировна
Урядов Владимир Николаевич

***ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ ГИБРИДНЫХ СКТ
С ГЛУБОКИМ ПРОНИКНОВЕНИЕМ ОПТИКИ***

Методическое пособие по дисциплине
«Современные технологии систем и средств телекоммуникаций»
для студентов специальностей
1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»
и 1-45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения»
дневной и заочной форм обучения

Редактор Т. Н. Крюкова
Корректор А. В. Бас

Подписано в печать 14.02.2012.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 3,4.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 3,37.
Заказ 124.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровка, 6