

Министерство транспорта и связи Украины  
Государственная администрация связи

---

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

---

Балашов В.А., Воробиенко П.П.,  
Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М.

# **Сети и оборудование широкополосного доступа по технологиям xDSL**

Учебное пособие  
для студентов по направлению подготовки  
6050903 «Телекоммуникации»

Одесса – 2010

*Рекомендовано Министерством  
образования и науки Украины как  
учебное пособие для студентов  
высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению  
подготовки «Телекоммуникации»*

*Письмо № 1/11-3361  
от 22.04.2010*

**Сети и оборудование широкополосного доступа по технологиям xDSL:**  
[Уч. пособие] / **В.А. Балашов, П.П. Воробиенко, А.Г. Лашко,  
Л.М. Ляховецкий.** – Одесса: Изд. центр ОНАС им. А.С. Попова, 2010. – 208 с.

**ISBN 978-966-7598-55-6**

Рассмотрено построение сети широкополосного доступа к сети Интернет по абонентским кабелям телефонной сети на базе технологий xDSL (Digital Subscriber Line). Приведены основные характеристики технологий передачи xDSL, регламентированные рекомендациями МСЭ-T G.991 – G.993. Описаны принципы построения и функционирования оборудования xDSL с асимметричной скоростью передачи в направлениях к абоненту и от абонента – ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) и VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line), основные алгоритмы передачи сигналов, характеристики передающего оборудования, потенциальные характеристики передачи.

Учебное пособие предназначено для углубленного изучения студентами учебных заведений связи технологий широкополосного доступа, широко применяемых сегодня для построения сетей доступа.

**Рецензенты:**

профессор, ректор Черкасского государственного технологического университета, д.т.н. Ю.Г. Лега;  
профессор кафедры телекоммуникационных систем Харьковского национального университета радиоэлектроники, д.т.н. А.В. Лемешко

**ПРИНЯТО**  
на заседании кафедры  
телекоммуникационных  
систем передачи  
Протокол № 6  
от 20.10.09 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА .....	8
1.1 Типовая структура сети xDSL-доступа .....	8
1.2 Построение сети абонентских линий .....	9
1.3 xDSL-модем. Технические требования .....	12
1.4 DSLAM. Технические требования .....	13
1.5 BRAS. Технические требования .....	14
1.6 Требования к системе управления xDSL-модема (DSLAM).....	15
1.7 Сеть абонентского xDSL-доступа с точки зрения Рекомендации МСЭ-Т G.995.1 .....	15
2 ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ДОСТУПА .....	22
2.1 Последовательная передача цифровых сигналов по каналам связи .....	22
2.2 Интерференционные помехи. Критерий Найквиста .....	26
2.3 Параллельная передача цифровых сигналов по каналам связи .....	28
2.4 Характеристики СП ОС с узкополосными сигналами-переносчиками..	30
2.5 Оптимальный спектр сигнала при передаче по полосноограниченному каналу связи с линейными искажениями и аддитивным шумом .....	34
3 ОБОБЩЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ xDSL .....	36
3.1 Обобщенная структурная схема передатчика СП xDSL .....	36
3.2 Алгоритмы модуляции-демодуляции СП с АИМ .....	37
3.3 Квадратурная амплитудная модуляция .....	38
3.4 Передача ортогональными гармоническими сигналами .....	42
3.5 Кодирование с целью исправления ошибок в СП xDSL .....	52
3.6 Перемежение сигналов .....	54
3.7 Свёрточное кодирование .....	57
3.8 Сигнально-кодовые конструкции .....	61
3.9 Модуляция ТСПАМ .....	66
3.10 Циклическая избыточная проверка .....	67
3.11 Скремблирование сигнала .....	67
3.12 Методы разделения сигналов встречных направлений передачи .....	69
4 СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИЯМ МСЭ-Т G.992 – G.993 .....	72
4.1 Общие характеристики СП .....	72
4.2 Структура спектра сигнала .....	73
4.3 Структурная схема передатчика .....	77
4.4 Структура сигнала ADSL .....	79
4.5 Алгоритмы преобразования сигналов в передатчике.....	83
4.5.1 Циклическая избыточная проверка. Скремблирование сигнала...	83
4.5.2 Предварительная коррекция ошибок и перемежение .....	83
4.5.3 Распределение битов по несущим .....	85

4.5.4 Решетчатое кодирование и преобразование битов .....	86
4.5.5 Кодер созвездий .....	88
<b>5 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ОБОРУДОВАНИЯ</b>	
xDSL-ДОСТУПА .....	90
5.1 Рекомендации МСЭ-Т, стандартизирующие СП xDSL .....	90
5.2 Эволюция ADSL и VDSL .....	90
5.3 Характеристики интерфейсов ADSL и VDSL .....	94
5.4 Методы измерения параметров интерфейсов xDSL .....	123
<b>6 ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ПО ТЕХНОЛОГИИ SHDSL .....</b>	<b>133</b>
<b>7 ХАРАКТЕРИСТИКИ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ .....</b>	<b>140</b>
7.1 Характеристика кабелей абонентских линий .....	140
7.1.1 Типы кабелей, применяемых на абонентских линиях .....	140
7.1.2 Электрические параметры передачи кабелей .....	146
7.1.3 Параметры взаимного влияния .....	149
7.2 Отбор пар в многопарных кабелях местной связи	
для организации xDSL-линий .....	156
7.2.1 Отбор пар в кабелях по результатам измерения	
переходного затухания на ближнем конце .....	157
7.2.2 Отбор пар в кабелях с повивным построением сердечника .....	158
7.2.3 Отбор пар в кабелях с пучковым построением сердечника .....	159
<b>8 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ АБОНЕНТСКИХ</b>	
<b>  ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ xDSL.....</b>	<b>162</b>
8.1 Потенциальные характеристики СП ADSL и VDSL	
при равномерном аддитивном шуме на входе приемника .....	162
8.2 Оценка потенциальных характеристик цифровых	
абонентских линий на многопарных телефонных кабелях .....	168
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....</b>	<b>175</b>
<b>ГЛОССАРИЙ .....</b>	<b>177</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>201</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Доступ абонентов к телекоммуникационным и информационным ресурсам Интернета обеспечивается посредством сетей доступа: беспроводных, построенных с применением разнообразных радиотехнологий (GSM, UMTS, CDMA, WiMax, Wi-Fi и т.п.), либо проводных, использующих в качестве среды для передачи сигналов различные металлические и оптические кабели связи, кабели электроснабжения и электропроводки. Важнейшей характеристикой абонентского доступа является скорость доступа. К линиям широкополосного доступа (ШД) совсем недавно относили линии со скоростью передачи выше 64 кбит/с; сегодня к ШД относят, как правило, доступ со скоростью более 1 Мбит/с.

Скорости передачи, обеспечиваемые мобильными технологиями доступа 3G и 4G, сегодня уже далеко отстают от потребностей пользователей и, очевидно, приближаются к своему пределу, а специалисты прогнозируют в недалекой перспективе скорости ШД до 1 Гбит/с на квартиру. Поэтому сегодня, говоря о ШД, имеют в виду доступ по телефону, по оптическому или коаксиальному кабелю со скоростью не менее 1 Мбит/с с использованием соответствующих телекоммуникационных технологий: xDSL, Cable Modem, Fiber+LAN (FTTx) и т.п..

К концу 2008 года в мире насчитывалось около 410,9 млн пользователей ШД [1]. Прирост количества пользователей ШД в течение 2004 – 2008 гг. составлял в среднем 27,7% в год. Согласно прогнозам, темпы роста абонентской базы ШД в 2009 – 2013 гг. будут составлять 10,8 %. В среднем распространение ШД во всем мире в конце 2008 г. составляло 7,1%, что на 1 % больше, чем в конце 2007 г.

Самой распространённой разновидностью ШД является ШД, использующий хорошо развитую сеть абонентских линий (АЛ) местной телефонной сети. Из общего числа линий ШД на начало 2009 года 266 млн линий (64,8 %) были построены на АЛ местной сети с использованием специально разработанных для таких целей технологий передачи xDSL (Digital Subscriber Line), характеристики которых регламентированы рекомендациями МСЭ-Т: G.991 – G.993 [3 – 6, 30 – 38]. Наибольшее распространение получили системы xDSL с асимметрической скоростью передачи в направлениях от абонента и к абоненту – ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) и VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line).

Ожидается, что темпы увеличения числа xDSL-линий в мире составят от 40 до 50 млн в год, а в 2010 году только число линий ШД с использованием технологий xDSL превысит 500 млн из общего количества порядка 900 млн линий ШД.

Технологии xDSL с асимметричной скоростью передачи сигналов по двухпроводным АЛ стремительно развиваются в последнее время: в течение восьми лет, начиная с 1999 года, когда была принята Рекомендация МСЭ-Т G.992.1 (ADSL), разработано и узаконено 5 вариантов систем ADSL и 2 варианта систем VDSL. Последняя версия VDSL2, согласно Рекомендации

G.993.2 (от февраля 2006 г.), обеспечивает скорость передачи по двухпроводной АЛ до 100 Мбит/с в дуплексном режиме.

Технологии передачи xDSL разработаны непосредственно под задачу построения цифровых высокоскоростных абонентских линий, использующих существующие кабели местной телефонной сети. К основным характеристикам оборудования связи xDSL относятся:

- использование в качестве среды передачи существующих абонентских двухпроводных линий передачи, построенных на кабеле с металлическими жилами, и обеспечение высокой достоверности передачи данных, сравнимой с качеством, достижимым на волоконно-оптических линиях связи;

- высокая степень адаптации к частотным характеристикам канала передачи, что позволяет не предъявлять высоких требований к его состоянию;

- электромагнитная совместимость с существующим на абонентской сети оборудованием связи;

- электромагнитная совместимость с разными типами xDSL, работающими по параллельным парам;

- отсутствие регенераторов на линии в наиболее типичном варианте использования оборудования, что значительно повышает надежность системы;

- возможность осуществления дистанционного питания абонентского оборудования непосредственно по линии, используемой для передачи информации;

- совместимость практически с любым существующим телефонным и сетевым оборудованием по технологиям передачи, включая Ethernet, Frame Relay и ATM, протоколам и скоростям передачи информации;

- удовлетворение существующим требованиям по контролю характеристик и управлению, которые предъявляются со стороны сети.

Сегодня уже можно говорить об актуальной задаче полномасштабной замены традиционной телефонной абонентской сети на высокоскоростную цифровую сеть доступа, способную предоставлять широкий спектр современных мультимедийных инфокоммуникационных услуг. Те страны, которые успешно решают эту задачу, будут лидерами в экономическом развитии.

Переход на современную цифровую сеть ШД, высокие требования, предъявляемые к ее характеристикам, – все это принципиально изменяет характер проектирования, строительства и эксплуатации цифровых АЛ, повышает требования к квалификации обслуживающего персонала и организации обслуживания. Значительную роль в успешном достижении нового качества линий и их обслуживания призваны сыграть разного рода научно-технические и методические публикации и пособия, предоставляющие разностороннюю информацию по тематике ШД.

Предлагаемое пособие призвано познакомить, прежде всего, студентов высших учебных заведений в области телекоммуникации, других читателей с принципами построения и функционирования оборудования xDSL, основными алгоритмами передачи и приема сигналов, характеристиками передающего оборудования, потенциально достижимыми характеристиками передачи. Пособие предоставит возможность восполнить недостающую информацию,

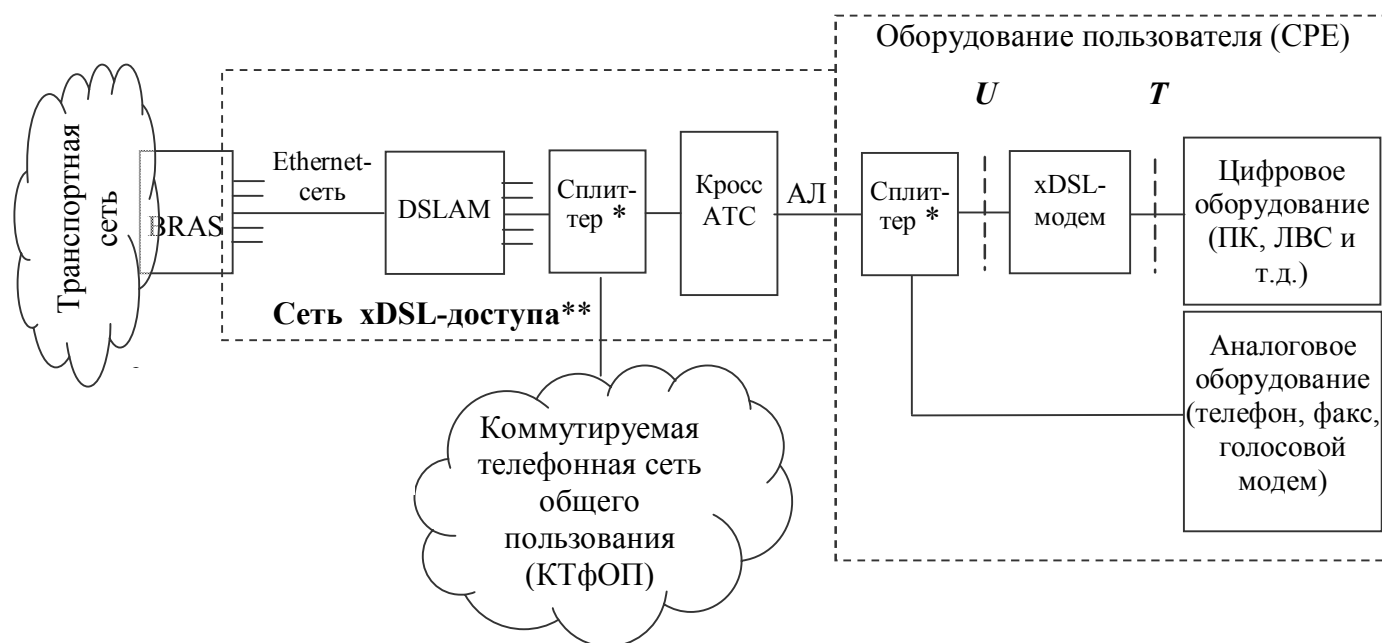
необходимую для проектирования и эксплуатации сетей ШД, построенных на базе xDSL-технологий. Оно составлено на основе материалов рекомендаций МСЭ-Т, стандартов ETSI, а также расчетов, моделирования и практических измерений характеристик линий xDSL, выполненных под руководством и при участии авторов.

Содержание пособия отвечает программе курса «Системы передачи сетей доступа».

# 1 ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА

## 1.1 Типовая структура сети xDSL-доступа

Типовая структура сети xDSL-доступа изображена на рис. 1.1.



BRAS – Broadband Remote Access Server (сервер удаленного широкополосного доступа)

DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer (мультиплексор доступа цифровых абонентских линий)

CPE – Customer Premises Equipment (оборудование помещения пользователя)

АТС – автоматическая телефонная станция

АЛ – абонентская линия

ПК – персональный компьютер

ЛВС – локальная вычислительная сеть

\*) Сплиттер не используется в симметричных видах xDSL (HDSL, SHDSL). Сплиттер может быть встроенным в DSLAM и xDSL-модем.

\*\*) В некоторых случаях сеть xDSL-доступа может заканчиваться в точке „T”

**Рисунок 1.1** – Структура сети xDSL-доступа

*Сеть доступа* – это часть сети электросвязи, которая обеспечивает соединение оборудования пользователей с ближайшим узлом транспортной сети с целью обеспечения пользователей доступом к инфокоммуникационным услугам.

*Сеть xDSL- доступа* – это широкополосная сеть доступа, построенная на базе xDSL-систем передачи.

**Примечание.** Технические характеристики xDSL-систем передачи определены рекомендациями МСЭ-T G.991 – G.993.



*Транспортная сеть* – это сеть электросвязи, предназначенная для передачи высокоскоростных потоков данных без промежуточного накопления, к которой пользователи не подсоединены непосредственно и которая осуществляет взаимное соединение сетей доступа.

На рис. 1.1 сеть xDSL-доступа – это часть сети электросвязи, ограниченная эталонной точкой *U* (или *T*) и BRAS (в той её части, которая мультиплексирует цифровые потоки DSLAM). В качестве оборудования пользователя может выступать xDSL-модем, локальная вычислительная сеть, персональный компьютер и другие устройства.

xDSL-модем устанавливается в помещении пользователя и может выполнять функции маршрутизатора, моста и/или коммутатора.

Сплиттер представляет собой фильтр, который отделяет высокочастотные сигналы (xDSL) от низкочастотных телефонных сигналов (полоса частот от 0,3 кГц до 3,4 кГц) или сигналов ISDN (от 0 кГц до 80 кГц).

DSLAM терминирует сигналы xDSL. Это первый элемент сети доступа, где происходит агрегация трафика множества цифровых абонентских линий.

Ethernet-сеть (на рис. 1.1) – это часть сети xDSL-доступа, которая ограничена множеством DSLAM и BRAS и использует технологию передачи Ethernet.

BRAS мультиплексирует цифровые потоки DSLAM и обеспечивает агрегацию PPPoE-сессий (PPPoE – Point-to-Point Protocol over Ethernet) абонентов. Взаимодействие BRAS с AAA-системой (AAA – Authentication, Authorization and Accounting) обеспечивает аутентификацию, авторизацию и учёт предоставленных услуг каждому абоненту. На основе информации, полученной от AAA-системы, BRAS формирует политику обслуживания абонентов.

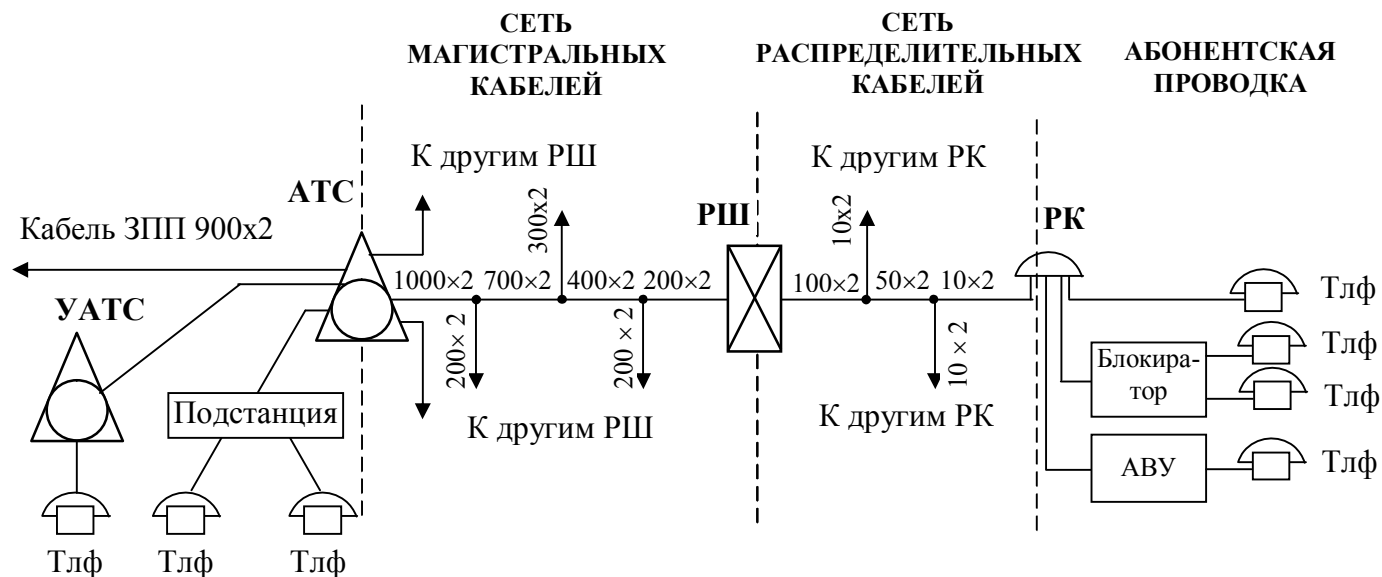
**Примечание.** Функции BRAS могут быть встроены в DSLAM. В такой ситуации структура сети xDSL-доступа отличается от структуры, приведенной на рис. 1.1, отсутствием отдельного BRAS.

## 1.2 Построение сети абонентских линий

Местная сеть связи включает в себя городскую, сельскую и комбинированную телефонные сети [24, 25]. Городская телефонная сеть (ГТС) состоит из сетей абонентских линий (АЛ) и соединительных линий (СЛ). Сеть АЛ строится по шкафной и бесшкафной системам. Схемы построения сети АЛ по шкафной и бесшкафной системам изображены на рис. 1.2.

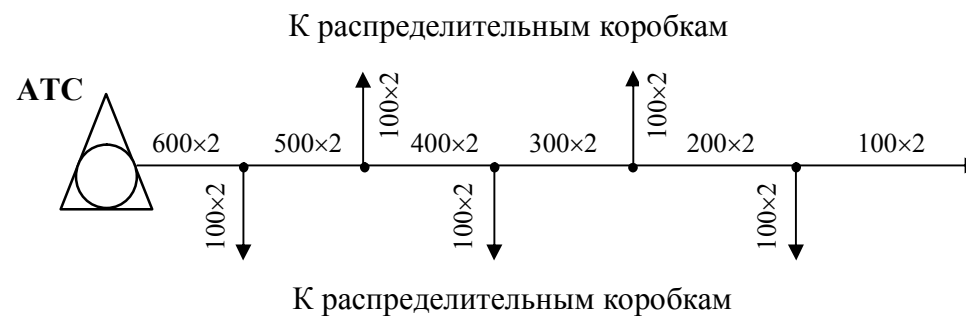
При шкафной системе построения АЛ состоит из совокупности линий от автоматической телефонной станции (АТС) до телефонного аппарата и включает в себя магистральный и распределительный участки и абонентскую проводку.

Бесшкафная система построения сети АЛ (рис. 1.2, б) обеспечивает большую гибкость за счёт параллельного включения кабелей. При этом отдельные пары кабеля включаются параллельно в нескольких распределительных коробках.



АТС – автоматическая телефонная станция, РШ – распределительный шкаф, РК – распределительная коробка;  
УАТС – учрежденческая АТС, АВУ – абонентское высокочастотное устройство, ЗПП – зона прямого питания

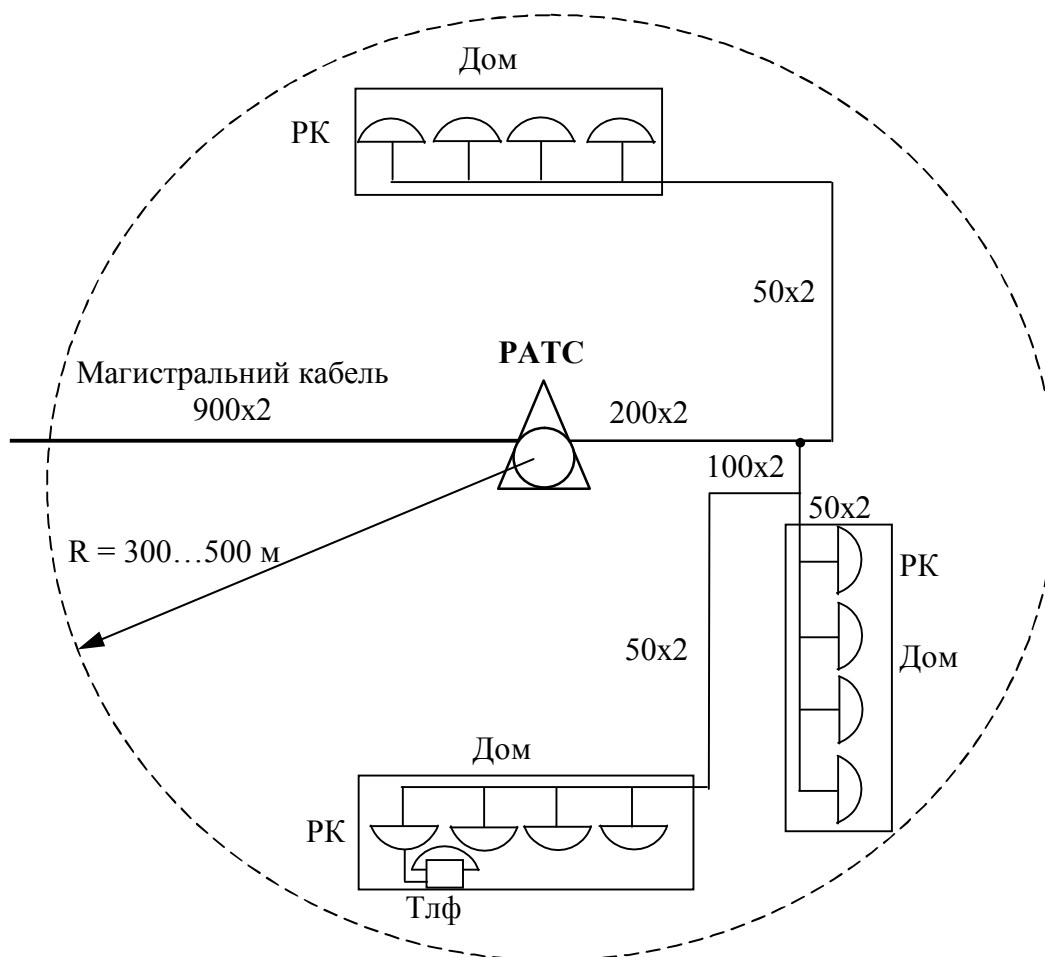
а)



б)

**Рисунок 1.2** – Примеры схем шкафной (а) и бесшкафной (б) систем построения сети АЛ ГТС

При шкафной системе построения сети (рис. 1.2, а) от автоматической телефонной станции (АТС) в разных направлениях выходят большие по ёмкости кабели (от 1200 пар до 2400 пар), которые в разветвительных муфтах (перчатках) делятся на кабели меньшей емкости. Эти кабели вместе с линейным оборудованием составляют магистральную сеть. Кабели магистральной сети включаются в распределительные шкафы емкостью  $1200 \times 2$  или  $600 \times 2$ . Из распределительных шкафов выходят кабели меньшей емкости (100 – 50 пар), которые разветвляются в муфтах и подходят к распределительным коробкам емкостью 10 пар. Эти кабели вместе с линейным оборудованием составляют распределительную сеть. От распределительных коробок до телефонных аппаратов абонентов прокладываются однопарные кабели, которые представляют собой абонентскую проводку. Вокруг АТС обычно располагается зона прямого питания, которая имеет приближённо форму круга радиусом 300 – 500 м (рис. 1.3).



РАТС – районная автоматическая телефонная станция в зоне прямого питания

**Рисунок 1.3** – Вариант фрагмента сети абонентских линий

Все телефонные аппараты (Тлф), расположенные в зоне прямого питания, включаются в АТС с помощью отдельных кабелей через распределительные коробки (РК), минуя распределительные шкафы. В одном кабеле не должны размещаться пары, предназначенные для обслуживания абонентов зоны

прямого питания, и пары, предназначенные для обслуживания абонентов вне зоны прямого питания.

В отличие от распределительной сети и зоны прямого питания, кабели магистральной сети должны содержаться под избыточным воздушным давлением, что обеспечивает лучшие значения электрических параметров в течение длительного периода эксплуатации.

В кабельную шахту АТС от защитных полос кросса подаются кабели емкостью 100 пар, где они соединяются с линейными кабелями большой емкости (до 1200 пар и более) в разветвительных муфтах (перчатках). Линейные кабели выходят из шахты через станционный колодец и расходятся по разным направлениям района по кабельной канализации. Распределительные шкафы устанавливаются в жилых и административных зданиях, на улицах города и оборудуются кабельными боксами 100 × 2. Магистральные кабели по мере удаления от АТС вблизи распределительных шкафов последовательно распаиваются в перчатках на кабели емкостью 100 пар, которые потом могут последовательно распаиваться в перчатках на кабели емкостью до 10 пар. Последние включаются в распределительные коробки, устанавливаемые под кабельными стойками, на стенах помещений и чердаках. От распределительных коробок прокладываются провода однопарной абонентской проводки, которые включаются в телефонные аппараты, таксофоны и другую аппаратуру, установленную в квартирах и помещениях административных зданий. От кабельных ящиков воздушных телефонных линий до зданий подвешиваются провода, которые заканчиваются абонентской проводкой и телефонным аппаратом.

### 1.3 xDSL-модем. Технические требования

xDSL-модем – техническое средство, которое обычно устанавливается в помещении абонента и реализует функции приемника-передатчика по технологии xDSL. XDSL-модем может также выполнять функции моста и маршрутизатора.

xDSL-модем должен быть оборудован интерфейсом Ethernet 10/100Base-T (точка *T* рис. 1.1) для подключения к ПК или ЛВС, а также интерфейсом xDSL (точка *U* рис. 1.1) для подключения АЛ.

**Примечание.** Подробнее об интерфейсах *U* и *T* см. п. 1.3.

Интерфейс Ethernet 10/100Base-T должен соответствовать Стандарту IEEE 802.3.

Интерфейс xDSL должен удовлетворять как минимум одной из следующих рекомендаций МСЭ-Т: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4, G.992.5, G.993.1, G.993.2. Напомним, что каждая из вышеупомянутых рекомендаций МСЭ-Т отвечает одной из разновидностей технологии xDSL (см. табл. 1.1).

**Примечание.** В случае использования симметричных (с одинаковой скоростью передачи в нисходящем и восходящем направлениях) технологий xDSL – HDSL и SHDSL –

xDSL-модем может иметь более чем один интерфейс xDSL (до трёх – для модемов HDSL и до четырёх – для модемов SHDSL).

Подробнее технические требования к линейным интерфейсам xDSL-модемов приведены в разделе 5.

**Таблица 1.1** – Соответствие между рекомендациями МСЭ-Т и разновидностями технологии xDSL

Разновидности технологии xDSL	Обозначения рекомендаций МСЭ-Т
HDSL	G.991.1
SHDSL	G.991.2
ADSL	G.992.1
ADSL G.Lite (Splitterless ADSL – ADSL без сплиттера)	G.992.2
ADSL2	G.992.3
Splitterless ADSL2 (ADSL2 без сплиттера)	G.992.4
ADSL2+	G.992.5
VDSL	G.993.1
VDSL2	G.993.2

xDSL-модем должен поддерживать режим адаптивной скорости передачи с шагом 32 кбит/с. Диапазоны скоростей передачи, которые должны обеспечиваться xDSL-модемом, для каждой разновидности технологии xDSL приведены в разделе 5. Скорости передачи в нисходящем (Downstream) и восходящем (Upstream) направлениях должны быть независимы.

На сетевом уровне интерфейса Ethernet xDSL-модема должен поддерживаться протокол IP версии 4 в соответствии со стандартами IETF RFC 791 и IETF RFC 2474, протокол PPPoE (IETF RFC 2516), и может поддерживаться протокол IP версии 6 (IETF RFC 2460).

Если xDSL-модем выполняет функцию маршрутизации, то он должен поддерживать протоколы маршрутизации (RIP, OSPF или др.).

## 1.4 DSLAM. Технические требования

DSLAM – техническое средство, которое обычно устанавливается в помещении автоматической телефонной станции (АТС) или в другом специальном месте (выносе) и предназначено для объединения множества цифровых потоков от абонентских xDSL-модемов (xDSL-линий).

Таким образом, DSLAM выполняет следующие функции:

- множества приемников-передатчиков по технологии xDSL (соответственно DSLAM оборудован множеством интерфейсов xDSL, количество интерфейсов xDSL может достигать нескольких сотен и даже тысяч);
- мультиплексирования (объединения) сигналов xDSL-линий в высокоскоростной групповой цифровой сигнал.

Для передачи группового цифрового сигнала в сторону транспортной сети, как правило, используются оптические интерфейсы Gigabit Ethernet (1000Base-SX, 1000Base-LX и т. п.).

Интерфейсы Gigabit Ethernet должны удовлетворять Стандарту IEEE 802.3.

Интерфейсы xDSL должны удовлетворять как минимум одной из следующих рекомендаций МСЭ-Т: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4, G.992.5, G.993.1, G.993.2. Более подробные технические требования к интерфейсам xDSL DSLAM приведены в разд. 5.

DSLAM должен поддерживать режим адаптивной скорости передачи с шагом 32 кбит/с. Диапазоны скоростей передачи, которые должны обеспечиваться DSLAM, для каждой разновидности технологии xDSL приведены в разд. 5. Скорости передачи в нисходящем (Downstream) и восходящем (Upstream) направлениях должны быть независимыми.

DSLAM должен поддерживать протоколы STP и RSTP согласно стандарту IEEE 802.1w.

DSLAM должен поддерживать виртуальные локальные сети (VLAN) согласно стандарту IEEE 802.1Q.

DSLAM должен поддерживать классификацию трафика согласно стандарту IEEE 802.1Q.

На сетевом уровне интерфейсов Gigabit Ethernet DSLAMa должен поддерживаться протокол IP версии 4 согласно стандартам IETF RFC 791 и IETF RFC 2474, и может поддерживаться протокол IP версии 6 (IETF RFC 2460).

## **1.5 BRAS. Технические требования**

На границе между сетью доступа и транспортной сетью применяется техническое средство, называемое сервером удалённого широкополосного доступа – Broadband Remote Access Server (BRAS). BRAS является шлюзом между сетью доступа и транспортной сетью. Основными функциями BRAS являются аутентификация, авторизация и учет предоставленных услуг каждому абоненту и агрегация трафика пользователей. В случае если функции BRAS интегрированы в DSLAM, BRAS мультиплексирует сигналы множества xDSL-линий. В случае если функции DSLAM реализованы в отдельном устройстве, BRAS объединяет потоки от множества подключенных к нему DSLAM.

BRAS преобразует протоколы сети доступа в протоколы транспортной сети.

BRAS должен быть оборудован оптическими интерфейсами Gigabit Ethernet (1000Base-SX, 1000Base-LX и т.д.), соответствующими стандарту IEEE 802.3.

На сетевом уровне интерфейсов Gigabit Ethernet DSLAMa должен поддерживаться протокол IP версии 4 согласно стандартам IETF RFC 791 и IETF RFC 2474, и может поддерживаться протокол IP версии 6 (IETF RFC 2460).

BRAS должен поддерживать виртуальные локальные сети (VLAN) согласно стандарту IEEE 802.1Q.

BRAS также должен выполнять функции маршрутизации. Соответственно должны поддерживаться протоколы RIP версии 2 (соответствует STD 0056), OSPF версии 2 (соответствует RFC 2328), BGP-4 (соответствует RFC 1771), ISIS (соответствует ISO 10589).

## **1.6 Требования к системе управления xDSL-модема (DSLAM)**

xDSL-модем (DSLAM) должен иметь диагностические средства, которые позволяют пользователю точно определить параметры любого соединения, в том числе параметры ошибок.

Эти средства должны быть доступны с помощью графического интерфейса пользователя или XML-интерфейса.

xDSL-модем (DSLAM) должен обеспечивать детальную информацию о текущих соединениях и соответствующих параметрах, в том числе: скорости xDSL-соединения, мощности для восходящего и нисходящего направлений передачи, статистике ошибок корректирующего кодирования, статистике ошибок CRC (Cyclic Redundancy Check – циклическая проверка на избыточность), о затухании линии, запасах помехозащищённости, пропускной способности линии, скорости передачи данных во время инициализации, о графике распределения количества передаваемой информации по несущим (только для ADSL), а также статистике аварийных сигналов LOS (Loss Of Signal – потеря сигнала) и LOF (Loss Of Frame – потеря фрейма (кадра)).

xDSL-модем (DSLAM) должен поддерживать удаленное тестирование, диагностику и мониторинг параметров ошибки.

## **1.7 Сеть абонентского xDSL-доступа с точки зрения Рекомендации МСЭ-Т G.995.1**

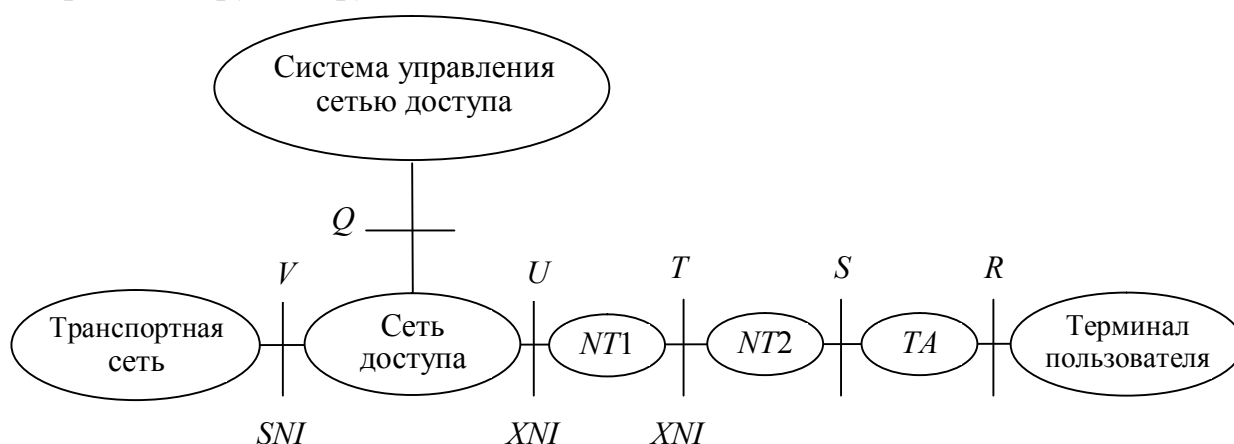
Эталонная модель построения сети доступа при использовании технологии xDSL определена в Рекомендации МСЭ-Т G.995.1 [39], там же приведен обзор рекомендаций, принадлежащих к семейству xDSL (см. рис. 1.4). «Сеть доступа» включает абонентскую телефонную сеть и оборудование агрегации цифровых абонентских линий. Сеть доступа и транспортная сеть разделены эталонной точкой *V*. Сеть доступа и система управления сетью доступа разделены эталонной точкой *Q*.

Сетевое окончание (network termination) *NT1* обеспечивает физическое соединение с сетью доступа в эталонной точке *U* и терминирует секцию цифрового доступа широкополосного соединения, обеспечивая управление и мониторинг параметров передачи. *NT1* может не терминировать транспортный протокол, например АТМ, используемый для передачи пользовательского трафика, но может выполнять такую функцию транспортного протокола, как адаптация скорости передачи, необходимая для поддержания разных характеристик в эталонных точках *T* и *U*. *NT2* соединяется с сетью в эталонной

точке  $T$  и может подключаться ко многим терминалам, предназначенным для пользователей, в эталонных точках  $S$ .  $NT2$  терминирует транспортный протокол, например АТМ, используемый для передачи пользовательского трафика, и может выполнять функции коммутации/маршрутизации.  $NT2$  может объединяться с  $NT1$ , формируя  $NT1/2$ . Для одних услуг сетевое окончание может входить в состав сети доступа, а для других – не может. Включение сетевого окончания в состав сети доступа не обязательно подразумевает право собственности на него. Терминальный адаптер (ТА) адаптирует транспортный протокол к специфическим требованиям пользовательского терминала.

Один или несколько элементов эталонной модели могут отсутствовать в определенных сценариях; следовательно, одна или несколько эталонных точек также могут отсутствовать. Приведенная эталонная модель предусматривает подключение к сети как аналоговых, так и цифровых терминальных устройств.

Данная эталонная модель представляет собой абстрактное группирование выполняемых оборудованием функций, которое может и не соответствовать группированию функций в реальном оборудовании. Реальное оборудование может выполнять одну или более абстрактных групп функций или часть абстрактной группы функций.



$NT$  – Network Termination (сетевое окончание)

$TA$  – Terminal Adapter (терминальный адаптер)

$V, U, T, S, R, Q$  – эталонные точки

$SNI$  – Service Node Interface (интерфейс узла услуг)\*

$XNI$  – Access Network Interface (интерфейс сети доступа)\*

\* Согласно Рекомендации G.995.1 MCE-T,  $SNI$  – это интерфейс между сетью доступа и транспортной сетью, а  $XNI$  – интерфейс между сетью доступа и помещением пользователя

**Рисунок 1.4** – Эталонная модель сети для рекомендаций семейства G.99x

Следующая часть данного раздела посвящена сопоставлению обобщённой эталонной модели, представленной на рис. 1.4 с функциональными блоками, реализующими СП ADSL, ADSL G.Lite и SHDSL, и нацелена на пояснение того, каким образом одни и те же функции могут быть реализованы при использовании разных типов СП xDSL.



На рис. 1.5 представлено соотнесение эталонной модели семейства рекомендаций G.99х с моделью, рассмотренной в Рекомендации МСЭ-Т G.992.1 [32]. На этом рисунке приведены функциональные блоки, реализующие систему передачи ADSL, описанную в Рекомендации МСЭ-Т G.992.1.

Согласно данной модели, концентратор и/или узел коммутации находятся в составе транспортной сети, которая делится на широкополосную и узкополосную.

Сеть абонентского доступа, реализованная по технологии ADSL, состоит из следующих элементов:

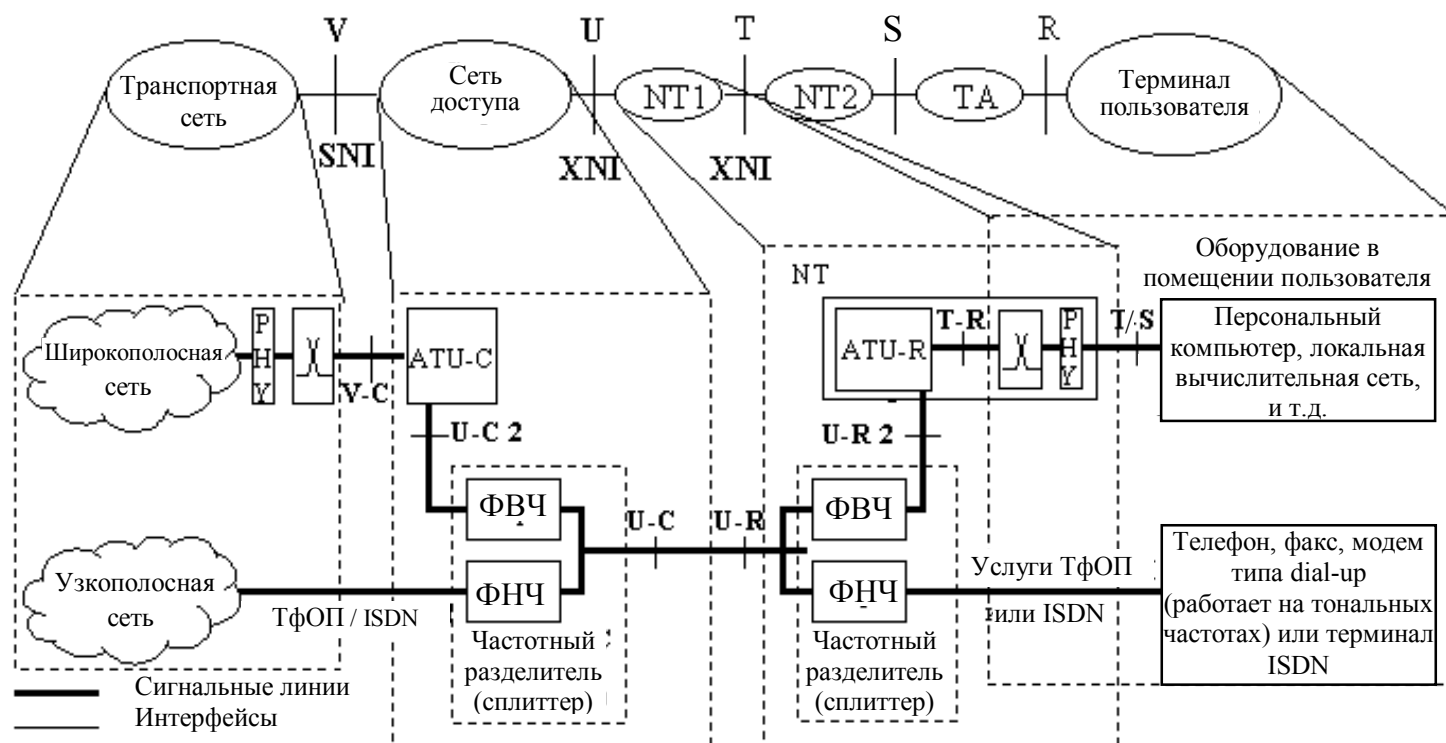
- приёмопередатчика ADSL на станционной стороне (ATU-C – ADSL Transceiver Unit-Central office end);
- абонентских линий, представляющих собой пары медного кабеля;
- частотного разделителя (сплиттера), состоящего из ФВЧ и ФНЧ, для объединения канала телефонной сети общего пользования (ТфОП) или ISDN и канала ADSL.


Оборудование *NT1* для технологии ADSL может состоять из:

- сплиттера для разделения канала ТфОП или ISDN и канала ADSL;
- приёмопередатчика ADSL на стороне пользователя (ATU-R – ADSL Transceiver Unit-Remote terminal end);
- мультиплексора/демультиплексора;
- оборудования, реализующего функции физического уровня (PHY – PHYSical layer);
- интерфейса к пользовательскому терминалу или к домашней сети;
- функциональных блоков для реализации функций сетевого и более высоких уровней.

Функции, реализуемые *NT1*, могут быть встроены в блоки *NT2*, терминального адаптера и терминала.

В этой модели эталонные точки *V*, *U* и *T* принимают вид *U-C*, *U-R*, *V-C* и *T-R* (добавление *C* или *R* означает принадлежность станционной стороне (central office end) или стороне пользователя (remote terminal end) соответственно). Из-за асимметрии линейного сигнала параметры передаваемых сигналов в эталонных точках *U-C* и *U-R* отличаются и полностью определены в Рекомендации G.992.1. Эталонная точка *V-C* может состоять из интерфейсов к одной или нескольким системам коммутации, работающим в синхронном или асинхронном режиме. Если высокочастотный фильтр сплиттера встроен в блок ATU-C или ATU-R, то функции интерфейсов *U-C* и *U-C2* (*U-R* и *U-R2*) совпадают. Обозначение T/S означает, что в данной точке объединены функции эталонных точек *T* и *S*.



 – обозначает концентратор и (или) узел коммутации; PHY – RHYsical layer (физический уровень);  
 ФВЧ – фильтр верхних частот; ФНЧ – фильтр нижних частот, ТфОП – телефонная сеть общего пользования

**Рисунок 1.5** – Соотнесение функциональных элементов модели согласно Рекомендации G.992.1 с эталонной моделью

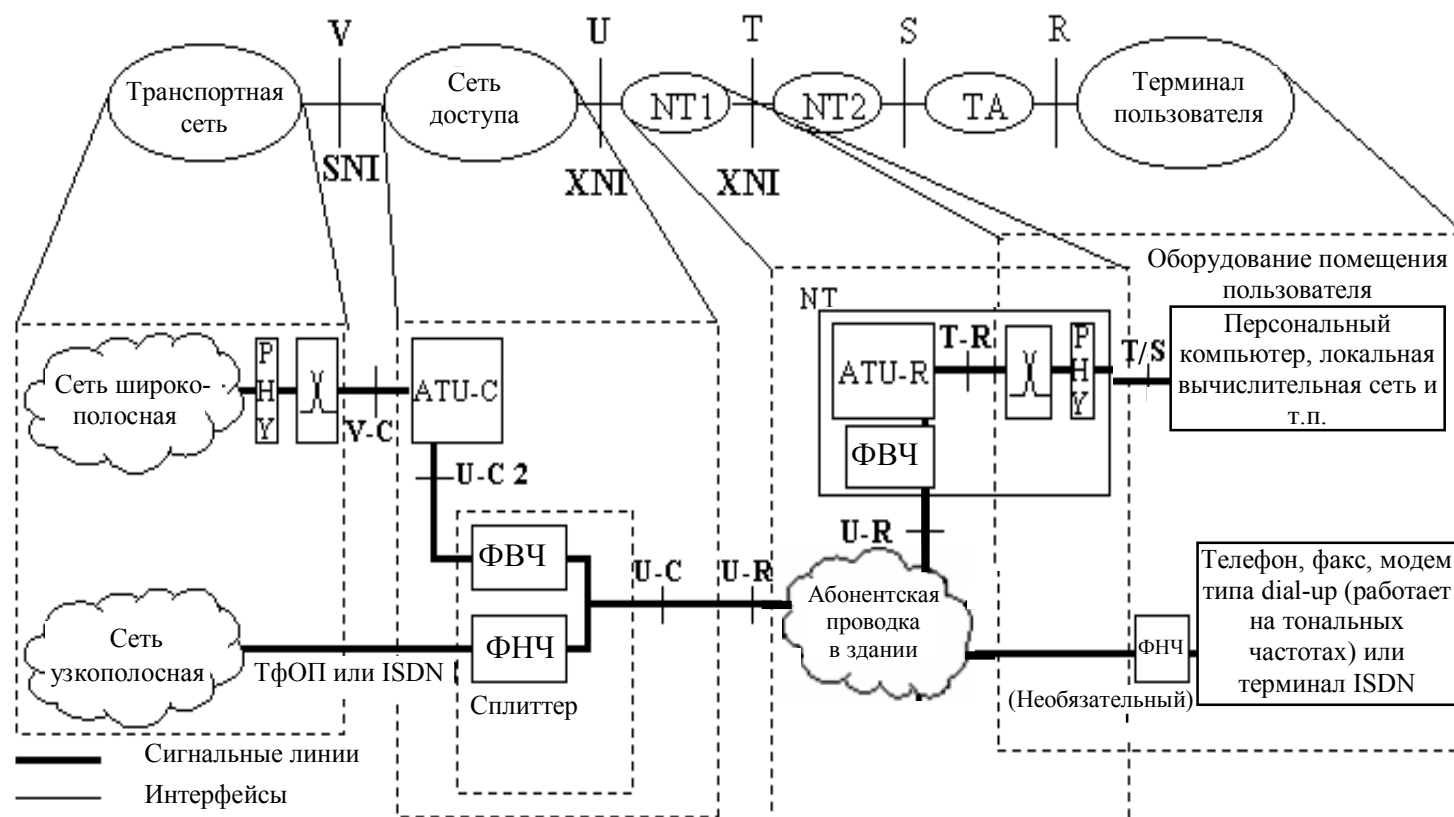
Рис. 1.6 иллюстрирует соотнесение моделей по Рекомендации МСЭ-Т G.992.2 [33] с эталонной моделью. На этом рисунке приведены функциональные блоки, реализующие систему передачи G.Lite, рассмотренную в Рекомендации МСЭ-Т G.992.2. Сравнивая рис. 1.5 и рис. 1.6, можно отметить, что основным расхождением используемых моделей является отсутствие выделенного сплиттера на стороне пользователя. Функции сплиттера в этом случае распределены между высокочастотным и низкочастотным трактами.

Высокочастотный фильтр интегрирован в *NT1*, а необязательный низкочастотный фильтр расположен перед терминалом пользователя. В системе передачи, описанной в Рекомендации МСЭ-Т G.992.2, не используется эталонная точка *U-R2*.

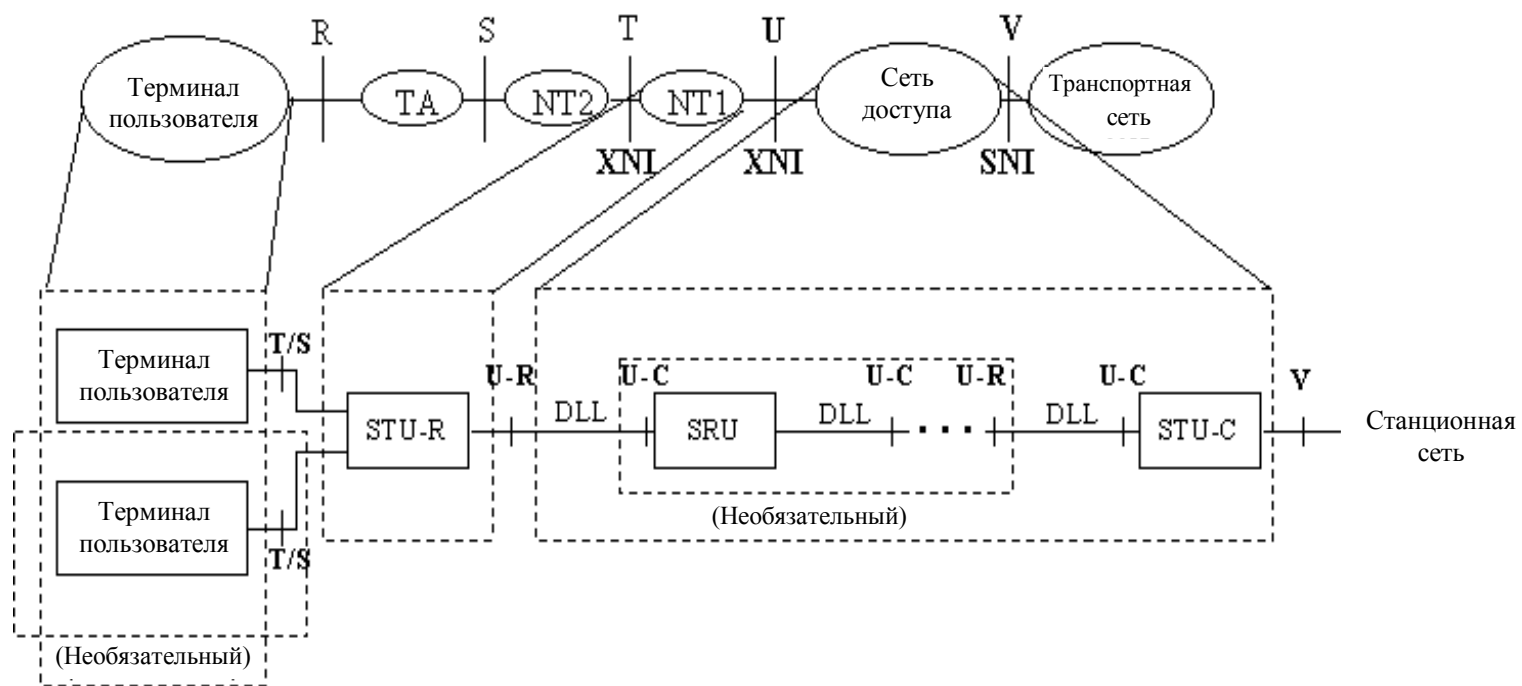
Рис. 1.7 иллюстрирует взаимосвязь эталонной модели со структурой системы передачи, рассмотренной в Рекомендации МСЭ-Т G.991.2 [31]. В этой модели представлены функциональные блоки, необходимые для реализации технологии SHDSL. Элементы транспортной сети, не показанные на рисунке, включают в себя станционное оборудование, подключаемое к сети доступа с помощью интерфейса *V*. Сеть доступа включает локальную (внутреннюю) цифровую линию – DLL (Digital Local Line), ретрансляторы SHDSL – SRU (SHDSL Repeater Unit) и блок приемопередатчика SHDSL – STU-C (SHDSL Transceiver Unit-Central office end), функции которого аналогичны функциям блока ATU-C. Между STU-C и STU-R (SHDSL Transceiver Unit-Remote terminal end – приемопередатчик SHDSL на стороне пользователя) может находиться несколько регенераторов SRU. Подключение линий DLL, связывающих блоки STU и SRU (или два соседних SRU), определено эталонными точками *U*. Для каждого STU и SRU подключение со стороны сети обозначено *U-R*, а со стороны пользователя – *U-C*. STU-C обычно соединяется со станционным оборудованием в эталонной точке *V*. *NT1* содержит в себе функции STU-R. Блоки *NT2*, *TA* и терминал пользователя могут выполнять все или часть функций *NT1*. Блоки STU-R могут подключаться к одному или нескольким терминалам, которые могут быть как однотипными, так и разнотипными.

### **Вопросы для проверки**

1. Сети доступа, их место в телекоммуникационной системе (сети) и их характеристики.
2. Особенности сети цифрового абонентского доступа по телефонной сети.
3. Построение сети xDSL-доступа согласно Рекомендации МСЭ-Т G.995.
4. Требования к оборудованию доступа по телефонной сети доступа.



**Рисунок 1.6** – Соотнесение функциональных элементов модели согласно Рекомендации G.992.2 с эталонной моделью



**Рисунок 1.7** – Соотнесение функциональных элементов модели согласно Рекомендации G.991.2 с эталонной моделью

## 2 ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ДОСТУПА

### 2.1 Последовательная передача цифровых сигналов по каналам связи

Цифровое представление сигналов разнообразных источников информации в виде временной последовательности двоичных импульсов (сигналов, принимающих два значения), кодирующих параметры информационных сигналов, стало основным в современных системах создания, обработки, хранения и передачи информации [16, 17]. Это объясняется следующими основными достоинствами цифрового представления сигналов и переносимой ими информации:

- унификация представления различных видов информационных сигналов;
- сокращение информационной избыточности при переходе от аналогового к цифровому сигналу;
- удобство хранения, воспроизведения и обработки цифровой информации;
- простота кодирования информации с целью повышения помехозащищённости и секретности;
- возможность сжатия сигналов путем устранения информационной избыточности сообщений.

Для передачи цифровых сигналов по каналам связи служат цифровые системы передачи (СП).

Обобщенная структурная схема СП приведена на рис. 2.1.

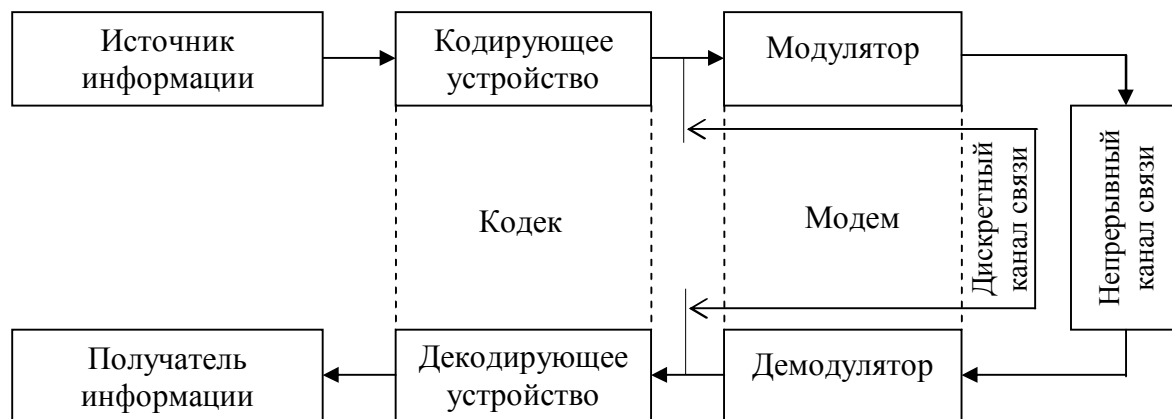


Рисунок 2.1 – Обобщённая структурная схема СП

Информационные сигналы, генерируемые источником информации, преобразуются кодирующим устройством путём аналого-цифрового преобразования в цифровой сигнал, представляющий собой последовательность двоичных импульсов – сигналов, которые принимают два значения.

Цифровой информационный сигнал подвергается ряду дополнительных преобразований: скремблированию, кодированию, циклообразованию и других,

в результате чего формируется последовательность двоичных сигналов, подлежащих передаче. В зависимости от вида модуляции и размерности ансамбля передаваемых сигналов двоичные сигналы объединяются в кодовые символы –  $m$ -разрядные двоичные числа.

Последовательный способ передачи сигналов по каналу связи заключается в использовании одного несущего сигнала (сигнала-переносчика):

$$f(t), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.1)$$

согласованного с характеристиками канала и передаваемого с тактовой частотой

$$F_T = \frac{1}{T},$$

где  $T$  – длительность тактового интервала в моменты времени  $pT$ ,  $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ :

$$f(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.2)$$

Кодовые символы с тактовой частотой  $F_T$  модулируют один или несколько параметров сигнала-переносчика: амплитуду, фазу, частоту. Соответственно виды модуляции называют: амплитудная модуляция (АМ), фазовая модуляция (ФМ), частотная модуляция (ЧМ).

Выходной сигнал модулятора в случае амплитудной модуляции описывается формулой:

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p f(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.3)$$

где  $a_p$  – амплитуда сигнала-переносчика, соответствующая значению кодового символа, передаваемого на  $p$ -ом тактовом интервале.

СП с последовательным способом передачи сигналов называют также одноканальными.

Отдельно можно выделить класс сигналов-переносчиков (2.1), длительность которых ограничена длительностью тактового интервала  $T$ :

$$f(t); \quad 0 \leq t < T. \quad (2.4)$$

В этом случае упрощается техническая реализация модулятора, а при невысоких скоростях передачи – и приемника.

СП с сигналами вида (2.4) и амплитудной модуляцией называют СП с АИМ – амплитудно-импульсной модуляцией.

Так, например, если  $f(t)$  на интервале  $T$  представляет собой посылку постоянного напряжения и используется восьмиуровневая АИМ, переносящая 3 бита за один такт передачи, то выходной сигнал модулятора представляет собой функцию времени, приведенную на рис. 2.2. Процесс модуляции при этом заключается в установлении соответствия между трехбитовым (при двоичной арифметике) кодовым символом ( $d1, d2, d3$ ) и амплитудой сигнала  $a_p$  (рис. 2.2). Рассмотренный вид модуляции называется линейным восьмиуровневым кодированием. В системах xDSL абонентского доступа применяются различные варианты АИМ-кодирования, вплоть до 128-уровневого кодирования.

100 | 001 | 011 | 111 | 010 | 000 | 000 | 110 | 101 |

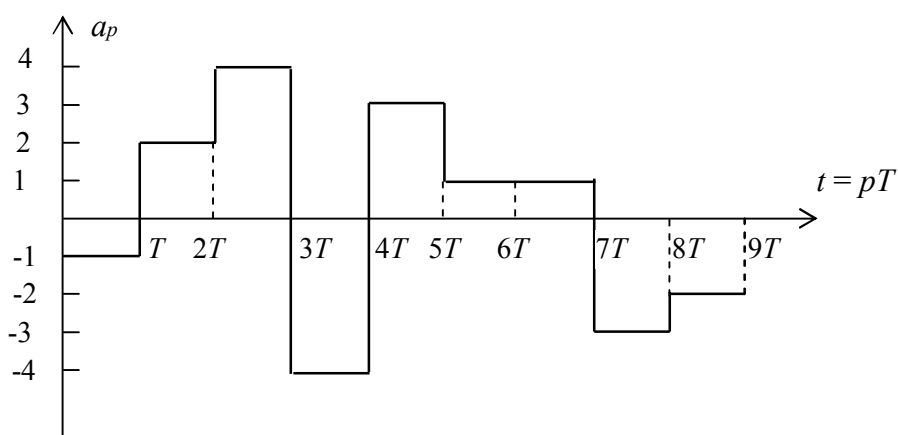


Рисунок 2.2 – Пример восьмиуровневого АИМ-сигнала

Сформированные модулятором электрические сигналы передаются по непрерывному каналу связи (в среде распространения сигнала). Реальные каналы связи весьма разнообразны по характеристикам и описываются большим числом параметров, влияющих на прохождение через них сигналов. Важнейшей характеристикой канала связи является комплексная функция частоты, называемая передаточной функцией (ПФ), которая описывает его частотные свойства:

$$H(i\omega), \quad \Omega_H \leq \omega < \Omega_B, \quad (2.5)$$

где  $\Omega_H$  и  $\Omega_B$  – нижняя и верхняя частоты границ полосы пропускания канала связи. Модуль ПФ (2.5) описывает амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), а аргумент – фазочастотную характеристику (ФЧХ) канала связи [7].

Сигналы-переносчики (2.1) в частотной области описываются соответствующей функцией частоты – спектром, который определяется преобразованием Фурье сигналов  $\{f(t)\}$ :

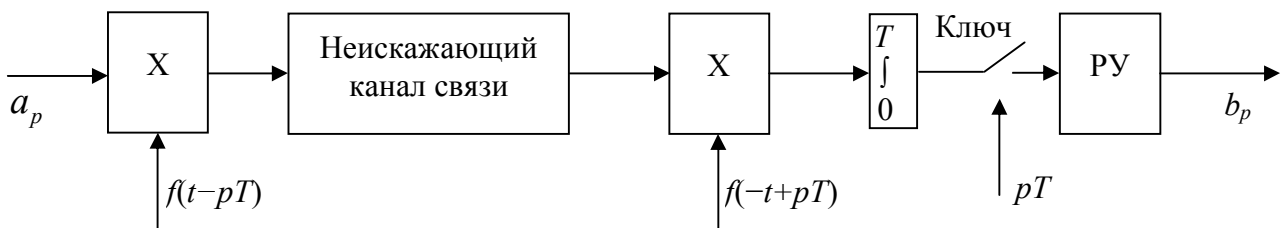
$$F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt, \quad -\infty < \omega < \infty. \quad (2.6)$$

В силу свойств преобразования Фурье сигнал конечной длительности обладает бесконечным спектром, а сигнал с ограниченным спектром бесконечен по времени. Реальные каналы связи (среды передачи сигналов) обладают ограниченной полосой пропускания. В зависимости от соотношения ширины полосы пропускания канала связи и спектра передаваемого сигнала последний в результате прохождения по каналу искажается в большей или меньшей степени. В теории, однако, широко используется модель неискажающего канала связи (канала без интерференции).

Если передача осуществляется по неискажающему каналу связи с белым аддитивным шумом, то оптимальный приемник АИМ-сигналов (2.4) представляет собой коррелятор с опорным сигналом  $f(-t)$ , последовательно которому включено решающее устройство (корреляционный приемник) [16].



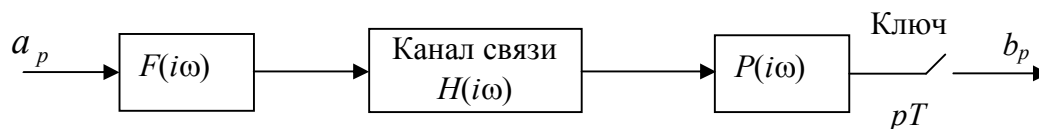
Системы передачи, использующие единственный сигнал-переносчик с длительностью, равной длительности тактового интервала, и реализующие корреляционный приём (рис. 2.3), неэффективны с точки зрения использования полосы частот канала. По этой причине СП, приведённая на рис. 2.3, представляет в настоящее время в основном теоретический и методический интерес. Сигналы-переносчики (2.4) в результате прохождения по полосноограниченному каналу связи увеличиваются по длительности, перекрываются друг с другом на длительности многих тактовых интервалов, и их приём по схеме, приведенной на рис. 2.3, порождает значительные интерференционные помехи (см. подразд. 2.2). Поэтому для их приёма используются более сложные оптимальные алгоритмы обработки, включающие адаптивную коррекцию с решающей обратной связью (КРОС), алгоритмы демодуляции Витерби и другие [13].



**Рисунок 2.3** – Система передачи с последовательной передачей сигналов и корреляционным приемником

Для построения систем передачи по полосноограниченным каналам связи применяют сигналы-переносчики, ширина спектров которых ограничена диапазоном частот канала связи. Длительность самих сигналов-переносчиков при этом теоретически бесконечна.

Для реализации алгоритмов модуляции и демодуляции в этом случае применяют фильтровые методы. Структурная схема одноканальной (поскольку используется лишь один сигнал-переносчик) СП с АИМ фильтрового типа и последовательной передачей приведена на рис. 2.4.



**Рисунок 2.4** – Система передачи с АИМ фильтрового типа

Последовательность сигналов  $a_p$  с тактовой частотой  $F_T = 1/T$ , размах которых на  $p$ -ом тактовом интервале определяется передаваемым кодовым символом, поступает на вход формирующего фильтра передачи с ПФ  $F(i\omega)$ ,  $-\Omega \leq \omega < \Omega$ :

$$s(pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p \delta(t - pT), \quad (2.7)$$

а этот фильтр «откликается» соответствующими импульсными реакциями:

$$a_p f(t - pT), p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\Omega}^{\Omega} F(i\omega) e^{i\omega t} dt,$$

где  $\delta(t)$  – дельта-функция.

Выходной сигнал фильтра передачи описывается формулой (2.3).

Оптимальный приём сигналов, прошедших через канал связи с передаточной функцией  $H(i\omega)$ ,  $-\Omega \leq \omega < \Omega$ , заключается в пропускании их через фильтр с передаточной функцией  $P(i\omega)$ ,  $-\Omega \leq \omega < \Omega$ , согласованной с принимаемым сигналом, и взятии отсчетов в тактовые моменты на его выходе.

С теоретической точки зрения схемы СП, приведенные на рис. 2.3 и 2.4, эквивалентны и отличаются реализацией.

## 2.2 Интерференционные помехи. Критерий Найквиста

Сигнал  $b_p$  на выходе приемного фильтра  $P(i\omega)$  (рис. 2.4) в каждый тактовый момент  $pT$ ,  $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , в общем случае является суммой соответствующего данному моменту переданного сигнала и множества сигналов, переданных в другие моменты времени и порождающих так называемую интерференционную межсимвольную помеху. Энергия помехи равна усредненному значению квадрата разности амплитуд  $a_p$  и  $b_p$ :

$$P_{MC} = M(b_p - a_p)^2, \quad p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

где  $M$  – символ математического ожидания случайной величины.

СП должна обеспечить выполнение условия:

$$P_{MC} = 0.$$

Выполнение этого условия возможно лишь при наложении определенных ограничений на характеристики СП.

Условие отсутствия межсимвольных помех при максимальной скорости передачи сигналов по полосноограниченному каналу связи известно как критерий Найквиста. В частотной области он формулируется как

$$K(i\omega) = \frac{1}{T} \sum_{p=-\infty}^{\infty} Q(i\omega - ip2\pi/T) = 1, \quad -\Omega \leq \omega < \Omega, \quad T = \frac{\pi}{\Omega}, \quad (2.8)$$

где  $Q(i\omega) = F(i\omega)H(i\omega)P(i\omega)$  – ПФ сквозного канала СП (рис. 2.5).

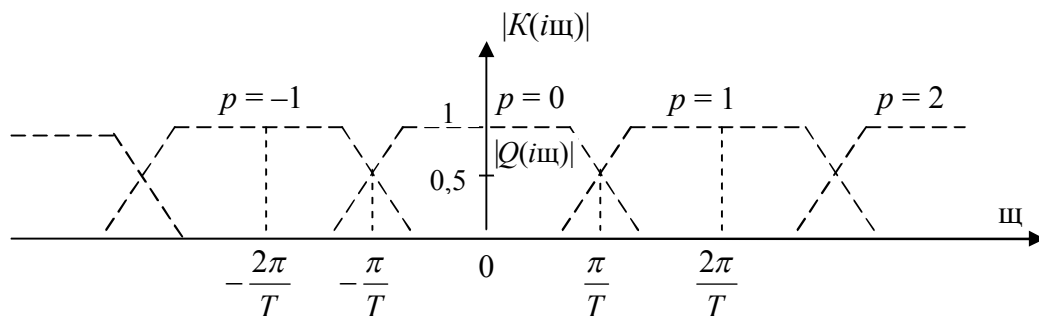


Рисунок 2.5 – Пример ПФ канала передачи, удовлетворяющей критерию Найквиста

Импульсная реакция (ИР) линейной системы, удовлетворяющей условию (2.8),

$$g(t - pT) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(i\omega) e^{i\omega(t - pT)} d\omega$$

обладает свойством отсчётности (рис. 2.6):

$$g(t - pT) = \begin{cases} 1, & t = pT \\ 0, & t - pT = kT, \quad k = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (2.9)$$

Последнее условие известно как критерий Найквиста во временной области (отсутствия межсимвольных помех при последовательной передаче сигналов).

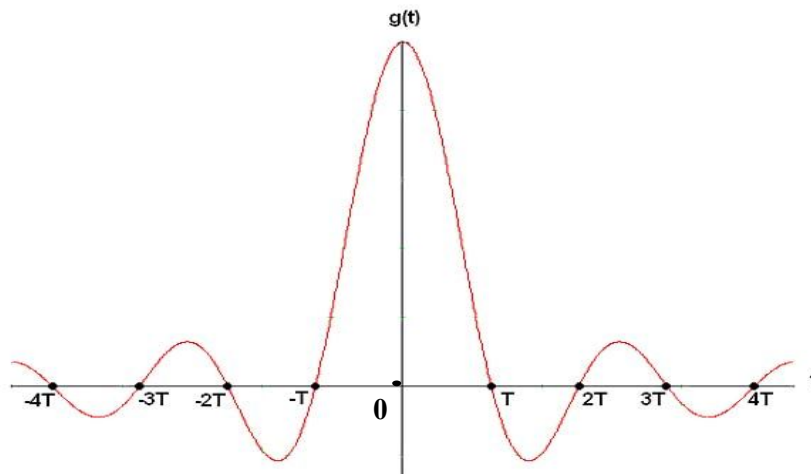


Рисунок 2.6 – Импульсная реакция со свойством отсчётности

Сигнал на выходе линейной системы, удовлетворяющей (2.9), в тактовые моменты  $qT$  равен  $a_q$ ,  $q = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ :

$$\sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p g(t - pT) = a_q, \quad t = qT, \quad q = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.10)$$

Рис. 2.6 и 2.7 иллюстрируют импульсные реакции линейной системы, ПФ которой удовлетворяет критерию Найквиста, на последовательность возбуждающих импульсов.

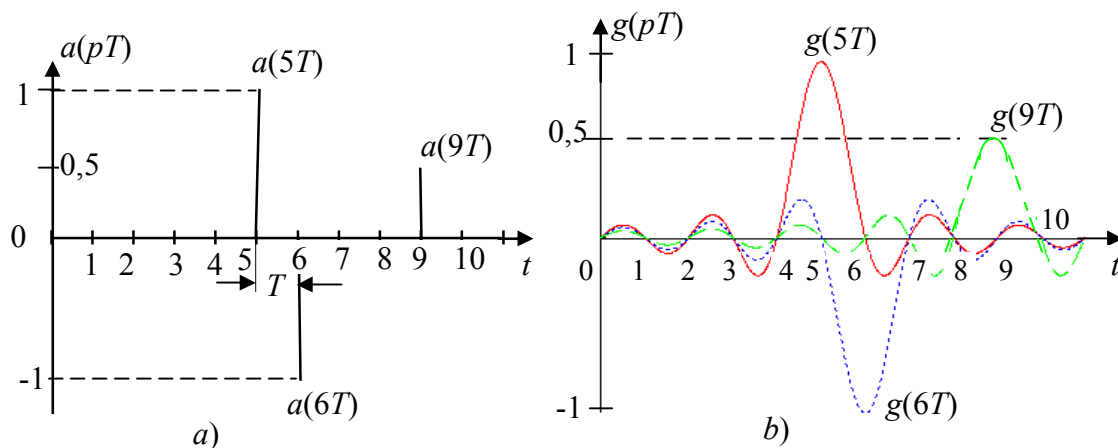


Рисунок 2.7 – Импульсные реакции линейной системы, удовлетворяющей критерию Найквиста (b), на возбуждающие импульсы  $a(pT)$  (a).

В отсчетные моменты  $t = 5T, 6T, 9T$  все ИР, кроме переданной в этот момент, принимают значение 0.

### 2.3 Параллельная передача цифровых сигналов по каналам связи

Наряду с последовательным (одноканальным) способом передачи, использующим один сигнал-переносчик, широко применяется параллельный (многоканальный) способ передачи сигналов.

При параллельном способе передачи используется множество из  $n$  сигналов-переносчиков

$$\{f_l(t)\}_{l=1}^n, \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.11)$$

в общем случае бесконечной длительности, которые одновременно и независимо модулируются передаваемыми информационными сигналами.

Сигналы (2.11) должны удовлетворять условию ортогональности, чтобы быть разделимыми линейными методами\*,

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_l(t) f_m(t) dt = \begin{cases} A, & l = m, \\ 0, & l \neq m, \end{cases} \quad l, m = 1, 2, \dots, n, \quad (2.12)$$

где  $A = \text{const}$ . Если  $A = 1$ , то система функций, удовлетворяющая (2.12), называется ортонормированной.

Свойство сигналов (2.12) является алгоритмом разделения их на приеме. Наряду с названием «СП с параллельной передачей сигналов», подобные системы называют также «СП с ортогональными сигналами» (СП ОС) либо «многоканальные СП» (число каналов СП равно  $n$  – числу используемых сигналов-переносчиков).

Общей моделью  $n$ -канальной СП ОС служит система передачи с АИМ, структурная схема которой приведена на рис. 2.8.

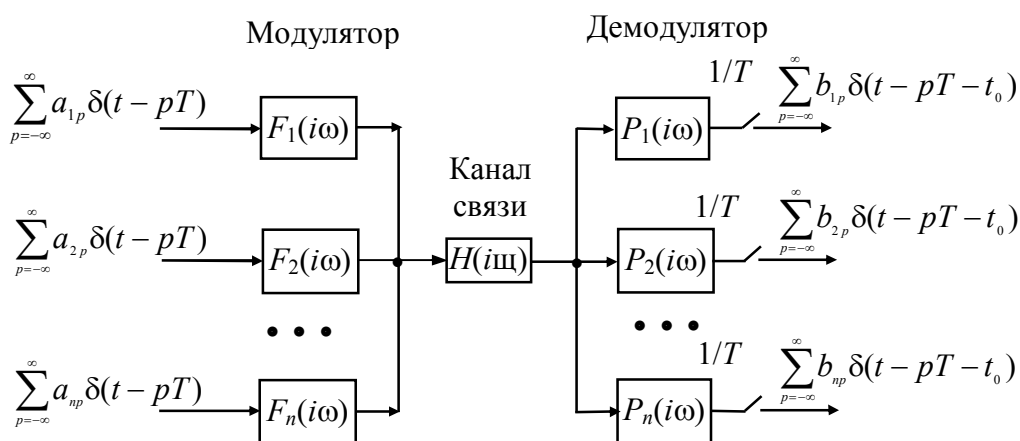


Рисунок 2.8 – Обобщенная структурная схема  $n$ -канальной СП ОС фильтрового типа

\* Строго говоря, для выполнения требования разделимости функций линейными методами достаточно лишь их линейной независимости.

Модулятор СП содержит  $n$  формирующих устройств – фильтров с ПФ:

$$\{F_l(i\omega)\}_{l=1}^n, -\Omega < \omega < \Omega, \quad (2.13)$$

демодулятор – соответственно  $n$  приемных согласованных фильтров с ПФ:

$$\{P_l(i\omega)\}_{l=1}^n, -\Omega < \omega < \Omega,$$

и ключи, стробирующие выходные сигналы фильтров в тактовые моменты времени.

Канал связи описывается ПФ  $H(i\omega)$ ,  $-\Omega < \omega < \Omega$ . Пара – передающий и приемный фильтры – вместе с каналом связи образуют канал передачи СП ОС.

Формирующие фильтры модулятора одновременно и независимо возбуждаются импульсами передаваемых дискретных сигналов:

$$s_l(pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_{lp} \delta(t - pT), l=1, 2, \dots, n, \quad (2.14)$$

где  $a_{lp}$  – амплитуда сигнала, возбуждающего  $l$ -й фильтр в  $p$ -й тактовый момент времени;  $T$  – тактовый интервал поступления передаваемых сигналов, удовлетворяющий условию:

$$T \geq \frac{\pi n}{\Omega}. \quad (2.15)$$

В случае выполнения точного равенства в условии (2.15)

$$T = \frac{\pi n}{\Omega} \quad (2.16)$$

обеспечивается максимально допустимая скорость передачи независимых сигналов (2 Бода на 1 Гц полосы частот) по полосноограниченному каналу связи, при которой еще теоретически могут отсутствовать интерференционные влияния сигналов и которую принято называть найквистовой скоростью передачи.

Сигнал на выходе  $l$ -го фильтра передатчика описывается формулой:

$$s_l(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_{lp} f_l(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.17)$$

а формируемый передатчиком групповой сигнал – выражением:

$$s(t) = \sum_{l=1}^n \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_{lp} f_l(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.18)$$

где  $f_l(t)$  – импульсная реакция  $l$ -го фильтра передачи.

На приемной стороне выходные сигналы фильтров  $P_l(i\omega)$  стробируются с тактовой частотой  $1/T$  Гц, в результате чего формируются принятые сигналы:

$$\tilde{s}_l(pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} b_{lp} \delta(t - pT - t_0), l=1, 2, \dots, n,$$

где  $t_0$  – временная задержка, внесенная каналом связи;

$b_{lp}$  – амплитуда отсчета сигнала на выходе  $l$ -го канала в  $p$ -й момент времени.

В СП ОС, наряду с межсимвольными, порождаются также межканальные интерференционные помехи. Условие отсутствия межсимвольных помех,

порожденных сигналами “своего” канала, (критерий Найквиста) такое же, как и в случае последовательного (одноканального) способа передачи:

$$P_{ll} = \frac{1}{T} \sum_{p=-\infty}^{\infty} Q_{ll} \left( i\omega - ip \frac{2\pi}{T} \right) = 1, \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad (2.19)$$

где  $Q_{ll} = F_l(i\omega)H(i\omega)P_l(i\omega)$  – сквозная ПФ  $l$ -го канала СП.

Межканальные помехи возникают как результат прохождения («проецирования») сигнала из  $l$ -го канала СП в  $k$ -й. Критерием отсутствия межканальных переходов является условие:

$$P_{lk} = \frac{1}{T} \sum_{p=-\infty}^{\infty} Q_{lk} \left( i\omega - ip \frac{2\pi}{T} \right) = 0, \quad l, k = 0, 1, 2, \dots, n, \quad l \neq k, \quad (2.20)$$

где  $Q_{lk} = F_l(i\omega)H(i\omega)P_k(i\omega)$  – сквозная ПФ от входа  $l$ -го канала СП до выхода  $k$ -го канала приёмника.

Совокупность условий (2.19) и (2.20) известна как обобщенный критерий Найквиста, определяющий условия разделимости на приеме используемых сигналов-переносчиков без интерференционных помех. Так как линейные частотные искажения канала связи носят случайный характер, то невозможно априорно задать требования на ПФ  $F_l(i\omega)$  и  $P_l(i\omega)$  с целью выполнения условий (2.19), (2.20). По этой причине требование линейной независимости либо более жесткое требование ортонормированности друг другу предъявляется к ПФ формирующих фильтров либо к системе сигналов-переносчиков, используемых в передатчике. А на приёмной стороне оптимальные ПФ  $P_l(i\omega)$ ,  $l=1, 2, \dots, n$ , обеспечивающие минимальную дисперсию суммарных аддитивных и интерференционных помех в каждом канале СП ОС, реализуются в виде последовательного соединения согласованных с принимаемым сигналом фильтров и адаптивных корректоров межканальных и межсимвольных помех [11].

Задачей СП (рис. 2.8) является обеспечение максимальной близости переданных дискретных отсчетов  $a_{lp}$  и принятых  $b_{lp}$ . За меру качества передачи принимают усредненную величину квадратов отклонений  $b_{lp}$  от  $a_{lp}$ :

$$P_l = M(b_{lp} - a_{lp})^2, \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad -\infty < p < \infty. \quad (2.21)$$

Величина  $P_l$  есть усредненная (по множеству реализаций случайных последовательностей отсчётов передаваемых сигналов  $a_{lp}$   $l = 1, 2, \dots, n$ ;  $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) энергия суммарной (межсимвольной и межканальной) интерференционной помехи. Таким образом, введенная оценка качества приема сигналов представляет собой среднюю мощность помехи на выходах стробирующих устройств приемника.

## 2.4 Характеристики СП ОС с узкополосными сигналами-переносчиками

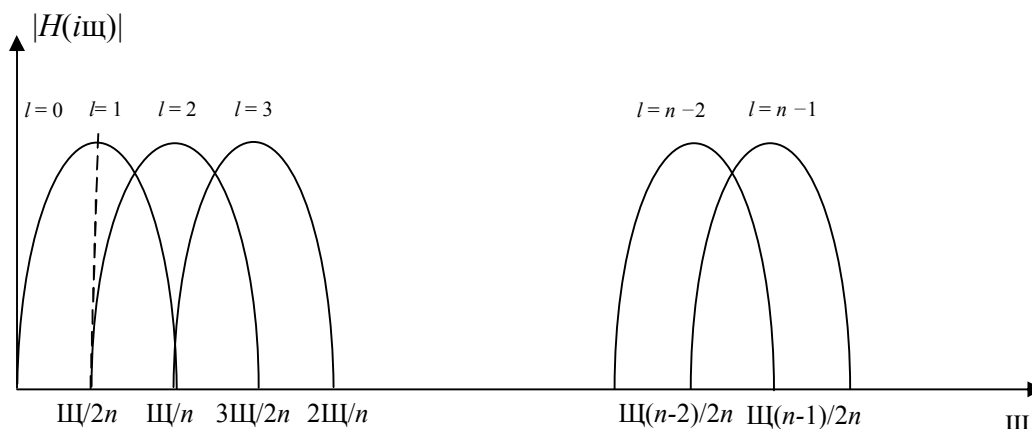
Среди множеств сигналов (2.11), удовлетворяющих условию (2.12), представляют интерес для передачи по полосноограниченным каналам связи сигналы, ширина полосы частот которых  $\Omega_k \ll \Omega$ . В качестве примера может

быть рассмотрена  $n$ -канальная СП фильтрового типа (рис.2.8) при  $n \gg 1$  с идеальными полосовыми фильтрами  $F_l(i\omega)$  с полосами пропускания, определяемыми соотношением:

$$\frac{(l-1/2)\Omega}{n} \leq \omega_l \leq \frac{(l+1/2)\Omega}{n}, \quad l = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad (2.22)$$

где  $(0, \Omega)$  – полоса пропускания канала связи;  $l$  – номер канала СП.

Практически реализуемы СП с канальными фильтрами, имеющими косинусоидальную АЧХ как с не перекрытыми по частоте соседними каналами, так и с перекрытыми наполовину (модемы Р. Чанга) (рис.2.9).



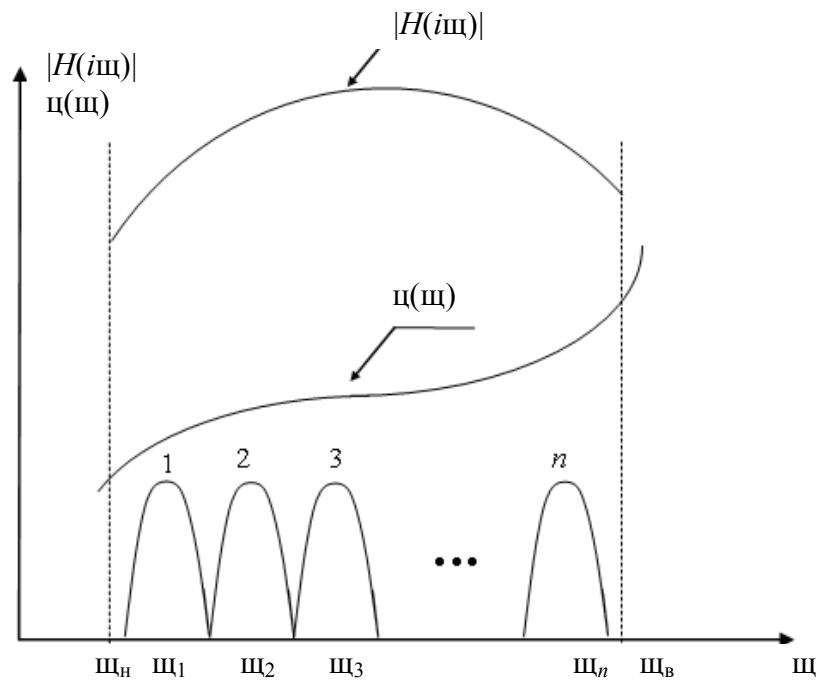
**Рисунок 2.9** – СП ОС с узкополосными каналами, перекрывающимися по частоте

Распространение получили СП ОС с сигналами-переносчиками вида синусоидальных импульсов длительностью  $\tau_0$ , обладающих теоретически бесконечным спектром, но достаточно хорошо сконцентрированных в полосе частот шириной  $2F_0$ ,  $F_0 = 1/\tau_0$ , и ортогональных на интервале  $\tau_0$  (см. разд. 2).

Достоинства СП с узкополосными сигналами, определившие их широкое распространение, заключаются в возможности их эффективной адаптации к характеристикам каналов и сред передачи сигналов.

СП с последовательной передачей сигналов включают, как правило, адаптивный корректор с целью коррекции частотных характеристик каналов передачи до требуемых норм. Адаптивный корректор – важнейший узел СП, определяющий основные ее характеристики. СП с узкополосными (полосноограниченными) канальными сигналами принципиально не нуждается в коррекции частотных характеристик.

Для обоснования этого утверждения рассмотрим  $n$ -канальную СП с узкополосными каналами, работающую по каналу связи с полосой пропускания  $(\omega_n, \omega_B)$ , АЧХ –  $|H(i\omega)|$  и ФЧХ –  $\varphi(\omega)$ . На рис. 2.10 показано условное размещение каналов СП в диапазоне частот канала связи.



**Рисунок 2.10** – Размещение каналов  $n$ -канальной СП ОС в полосе пропускания канала связи

Предположим, что число каналов  $n$  увеличивается и, в принципе, стремится к бесконечности. В этом случае диапазон частот, занимаемый каждым каналом СП ОС и определяемый соотношением (2.22), стремится к нулю. Но в узкой полосе частот ПФ канала связи с высокой точностью может быть аппроксимирована полиномом первой степени:

$$a_l \cdot e^{-i(\omega t_l + \varphi_l)}, \frac{(l-1/2)\Omega}{n} \leq \omega < \frac{(l+1/2)\Omega}{n},$$

где  $a_l$  – значение АЧХ на центральной частоте  $l$ -го канала;

$t_l$  – значение задержки сигнала  $l$ -го канала;

$\varphi_l$  – плоская составляющая ФЧХ  $l$ -го канала.

Таким образом, при достаточно большом  $n$  произвольная ПФ канала связи может быть аппроксимирована рядом:

$$\sum_{l=0}^{n-1} a_l e^{-i(\omega t_l + \varphi_l)}, \frac{(l-1)\Omega}{n} \leq \omega < \frac{l\Omega}{n},$$

где  $a_l, t_l, \varphi_l$  – константы.

Следовательно, в СП ОС с узкополосными сигналами-переносчиками при наличии индивидуальных для каждого канала систем автоматической регулировки усиления (АРУ), синхронизации несущей и тактовой частот линейные частотные искажения передаваемых сигналов могут быть пренебрежимо малыми, а в результате малыми будут и интерференционные (межсимвольные) помехи. При этом необходимость в адаптивном корректоре отпадает.

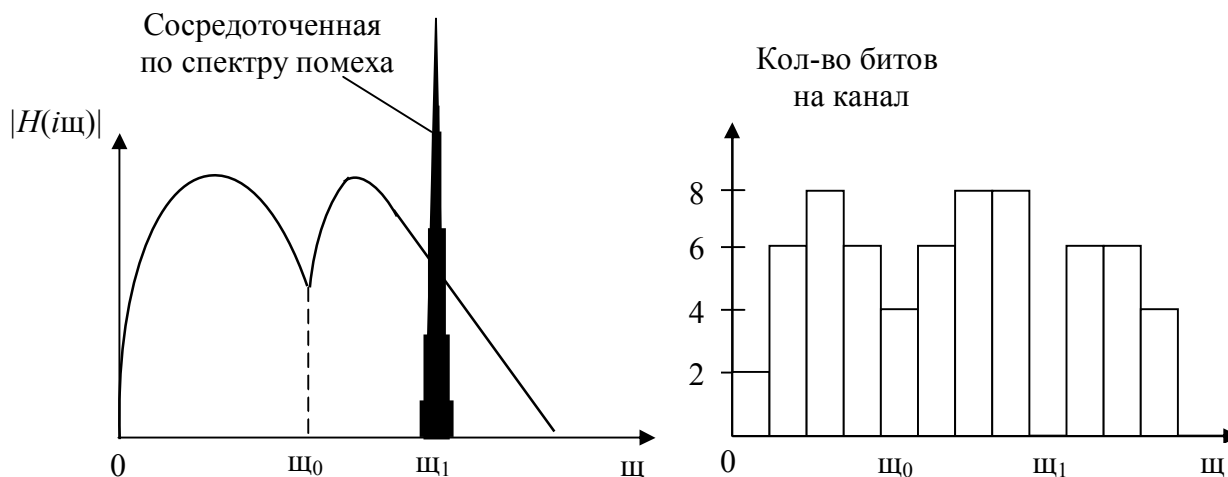
Отсутствие адаптивного корректора частотных характеристик является существенным при работе по радиоканалам с селективными замираниями по



частоте. Селективные замирания снижают отношение сигнал/шум в каналах, совпадающих по частоте с областью замираний, не изменяя его в остальных каналах. При большом числе каналов даже полное замирание нескольких каналов не ухудшает качества работы системы. Порождённые замираниями ошибки исправляются соответствующими кодами.

Важным результатом узкополосности каналов СП ОС является гибкость в формировании спектра передаваемого сигнала. Если частотные характеристики канала связи достаточно стабильны во времени, то осуществляется их измерение, распределение мощности передаваемого сигнала и количества передаваемой информации по каналам СП ОС с учётом результатов измерений. Это позволяет, например, не использовать для передачи те области частотной характеристики канала связи, в которых затухание сигнала либо мощность помех велики. На рис. 2.11 представлен пример зависимости от частоты модуля передаточной функции канала связи  $|H(i\omega)|$  (слева) и соответствующей зависимости от частоты скорости передачи по каналам СП (справа). Видно, что на тех несущих, где значения коэффициента передачи больше, передается больше информации, и наоборот, а на несущей, где действует сосредоточенная по спектру помеха большой мощности, информация вообще не передается.

Узкополосность каналов СП ОС позволяет эффективно бороться с сосредоточенными по спектру помехами путем исключения каналов пораженного участка частот и импульсными помехами. Под импульсной помехой понимают, как правило, мешающий сигнал, длительность которого соизмерима с котельниковским интервалом канала связи и, следовательно, обладающим широкополосным спектром, перекрывающим спектр передаваемого сигнала.



**Рисунок 2.11** – Зависимость скорости передачи по каналам СП с узкополосными сигналами от АЧХ канала связи и мощности помех

Предположим, что групповой сигнал СП ОС состоит из  $n$  сигналов длительностью  $T$ , обладающих средней энергией  $E_C$ . Полная средняя энергия группового сигнала соответственно равна  $nE_C$ , а средний уровень сигнала –

$\sqrt{\frac{nE_c}{T}}$ . Импульсная помеха характеризуется длительностью  $T/n$  и размахом, равным среднему уровню группового сигнала. В этом случае энергия импульсной помехи соизмерима с энергией одного сигнала СП ОС. Но спектр помехи соответственно в  $n$  раз шире спектра канального сигнала, и в результате только  $1/n$  часть её энергии попадает в индивидуальные каналы. Для одноканальных систем передачи (с последовательной передачей сигналов) длительность импульсной помехи соизмерима с длительностью тактового интервала, а её спектр перекрывает спектр сигнала. Поэтому практически вся энергия помехи попадает в приёмник и определяет соотношение сигнал/шум. Таким образом, отношение сигнал/импульсная помеха для индивидуальных сигналов  $n$ -канальной СП ОС в  $\sqrt{n}$  раз больше, чем для одноканальной СП.

Приведённые характеристики СП с узкополосными сигналами обусловили интерес к ним разработчиков и распространение этого типа аппаратуры в новых разработках.

## **2.5 Оптимальный спектр сигнала при передаче по полосноограниченному каналу связи с линейными искажениями и аддитивным шумом**

СП ОС позволяют достаточно просто реализовать различные стратегии оптимизации спектра группового сигнала и достичь высокой эффективности использования полосы частот каналов связи, что особенно важно при передаче по каналам с ненормированными и нестабильными характеристиками [6].

К основным задачам оптимизации относится задача поиска оптимальной формы спектра передаваемого сигнала  $s(t)$ , при которой скорость передачи информации по полосноограниченному каналу связи с функцией спектральной плотности мощности шума  $N(\omega)$  и передаточной функцией  $H(i\omega)$  достигает максимума.

Решение этой задачи дано в работе [8], согласно которой оптимальный спектр  $S(\omega)$  мощности сигнала определяется формулой:

$$S(\omega) = \begin{cases} B - \frac{N(\omega)}{H^2(\omega)}; & \omega \in \Omega_B, \\ 0; & \omega \notin \Omega_B, \end{cases} \quad (2.23)$$

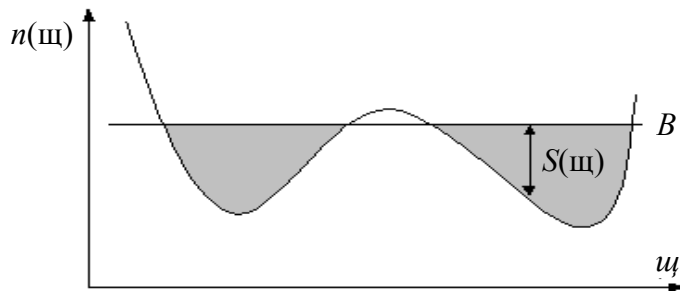
где  $\Omega_B$  – область частот, для которой спектральная плотность мощности приведенного ко входу канала связи шума (эквивалентного шума)  $N(\omega)/H^2(\omega) < B$ , а  $B$  является решением уравнения:

$$P = \int_{\omega \in \Omega_B} \left[ B - \frac{N(\omega)}{H^2(\omega)} \right] d\omega,$$

где  $P$  – мощность передаваемого сигнала  $s(t)$ .

На рис. 2.12 приведена графическая интерпретация решения (2.23) задачи оптимизации спектра передаваемого сигнала: на тех частотах, где спектральная

плотность мощности эквивалентного шума  $n(\omega) = N(\omega) / H^2(\omega)$  меньше константы, оптимальный спектр мощности  $S(\omega)$  дополняет спектр мощности эквивалентного шума до константы. На остальных частотах  $S(\omega) = 0$ . Наглядной физической интерпретацией решения этой задачи является заполнение мощностью сигнала  $S(\omega)$  (водой) сосуда, форма дна которого определяется кривой эквивалентного шума. По этой причине оптимальное решение получило название – принцип «заполнения водой».



**Рисунок 2.12** – Распределение спектра мощности сигнала в соответствии с принципом «заполнения водой»

Реализация этого принципа в СП ОС позволяет оптимизировать не только спектр группового сигнала, но и распределение передаваемой по каналам СП ОС информации. Приемник СП ОС на этапе инициализации определяет отношение сигнал/шум на входе, по специальным алгоритмам вычисляет мощность и вид сигнального созвездия для каждой несущей, передает эту информацию на передающую сторону. В результате число битов передаваемой информации и мощность передатчика распределяются по несущим сигналам оптимальным (по заданному критерию) образом (рис. 2.11). Оптимизация параметров группового сигнала может производиться по различным критериям и с различными дополнительными условиями [6].

### **Вопросы для закрепления**

1. Преимущества цифровой передачи информации.
2. Что ограничивает скорость передачи цифровых сигналов?
3. Что определяет критерий Найквиста?
4. В чём заключается природа интерференционных помех? Виды интерференционных помех.
5. Преимущества технологии параллельной передачи сигналов.
6. Какой спектр сигнала является оптимальным при передаче сигнала по каналу связи?

### 3 ОБОБЩЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ xDSL

#### 3.1 Обобщенная структурная схема передатчика СП xDSL

Передача цифровых сигналов по абонентским линиям (АЛ) телефонной сети сопряжена со значительными трудностями, связанными как с двухпроводной конструкцией АЛ, так и с качеством частотных и переходных характеристик многопарных телефонных кабелей. Для передачи с высокой скоростью цифровых сигналов по АЛ разработаны специальные технологии (методы) передачи – xDSL-технологии (Digital Subscriber Line). Системы передачи, использующие эти технологии, получили название СП xDSL (характеристики таких систем регламентируются рекомендациями МСЕ-Т: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4, G.992.5, G.993.1, G.993.2 [30 – 38]). Эти разнообразные типы оборудования связи объединяет ряд общих принципов построения и функционирования, а также алгоритмы обработки сигналов.

Структурная схема передатчика СП xDSL приведена на рис. 3.1.

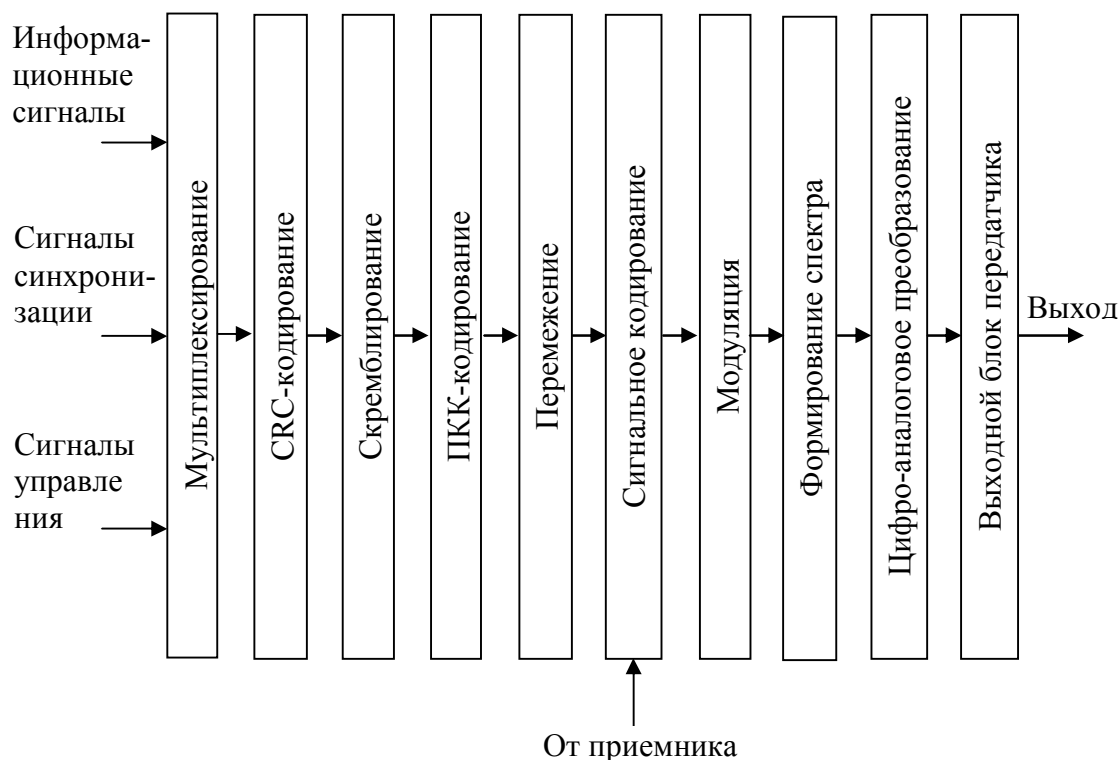


Рисунок 3.1 – Обобщенная структурная схема передатчика СП xDSL

Рассмотрим назначение блоков передатчика, а в последующих подразделах также и содержание выполняемых ими алгоритмов. Блок мультиплексирования объединяет сигналы симплексных и дуплексных информационных каналов (в зависимости от типа оборудования, число каналов может быть различным), с сигналами синхронизации, контроля и управления, администрирования, эксплуатации, синхронизированными единой тактовой

частотой, в последовательность цифровых двоичных сигналов (данных), подлежащих передаче. Сформированная последовательность сигналов подвергается независимому CRC-кодированию (CRC – Cyclic Redundancy Check), скремблированию и кодированию кодом, исправляющим ошибки – ПКК-кодирование (ПКК – прямое корректирующее кодирование). Затем полученная последовательность сигналов подвергается операции перемежения сигналов с целью уменьшения группирования ошибок в принятом на приемной стороне сигнале. Полученный цифровой поток подвергается второму помехоустойчивому кодированию, которое может объединяться с модуляцией, образуя сигнально-кодовые конструкции. Цифровой сигнал, полученный в результате модуляции, подвергается спектральной обработке с целью формирования его спектра, затем преобразуется в аналоговый сигнал и поступает в выходной блок передатчика. Выходной блок передатчика осуществляет формирование сигнала, который передается по телефонному двухпроводному абонентскому кабелю.

Более детально алгоритмы функционирования будут рассмотрены в разд. 4.

### 3.2 Алгоритмы модуляции – демодуляции СП с АИМ

В СП xDSL с последовательной передачей сигналов, наряду с различными реализациями квадратурной амплитудной модуляции (КАМ), широкое распространение получила амплитудно-импульсная модуляция (АИМ) благодаря простоте реализации модулятора-демодулятора системы передачи и достаточно высокой частотной эффективности. Обобщенная схема СП с АИМ фильтрового типа приведена на рис. 2.4. Приемный фильтр  $P(i\omega)$  реализуется в виде адаптивного корректора, перестраивающего свою ПФ таким образом, чтобы сквозная ПФ канала передачи удовлетворяла критерию Найквиста (2.9).

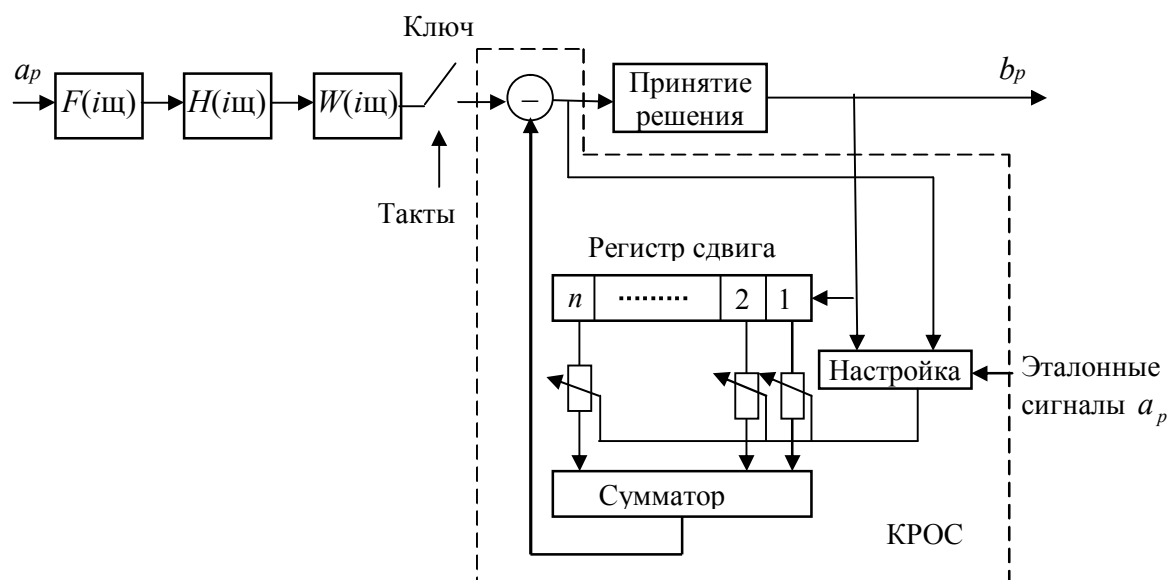
В качестве корректора в СП с АИМ применяется адаптивный корректор с решающей обратной связью – КРОС. Обобщенная схема СП с АИМ и адаптивным КРОС приведена на рис. 3.2. Модулятор реализуется в виде цифрового фильтра с передаточной функцией  $F(i\omega)$ , на вход которого поступают кодовые символы  $\{a_p\}$ ,  $-\infty \leq p < \infty$ . Сигнал модулятора, пройдя через канал связи с ПФ  $H(i\omega)$ , искажается и поступает на вход приемника.

Фильтр на входе приемника  $W(i\omega)$  ограничивает диапазон частот принимаемого сигнала с целью повышения соотношения сигнал/шум, а также выполняет функции предварительного корректора (предкорректора) приемника.

КРОС в цепи обратной связи содержит адаптивный фильтр, который настраивается по критерию минимума среднеквадратичной погрешности (2.8)

$$\min P = M(b_p - a_p)^2, \quad -\infty \leq p < \infty. \quad (3.1)$$

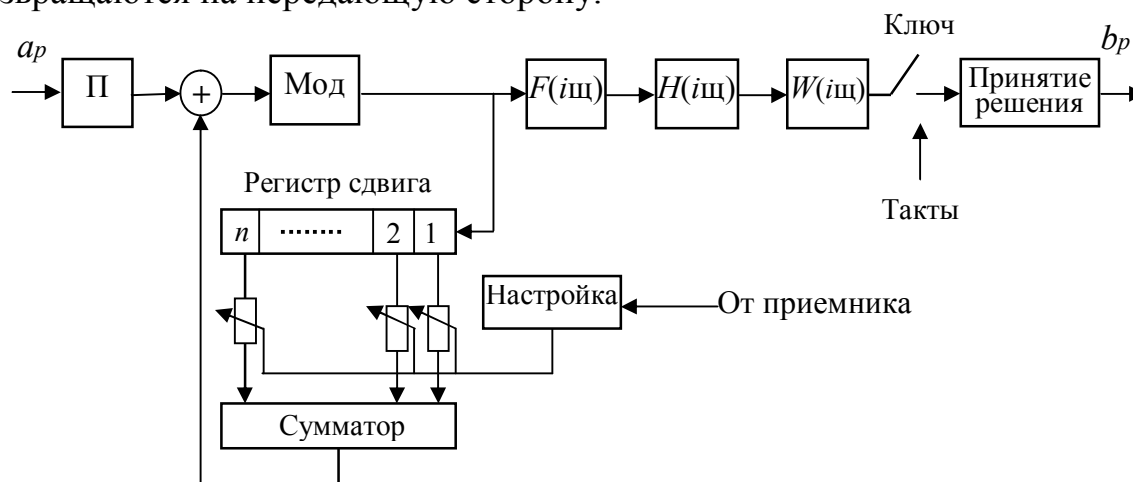
Адаптивный цифровой фильтр в цепи обратной связи оценивает значения интерференционных сигналов (хвостов) тактового момента от предыдущих принятых сигналов.



**Рисунок 3.2** – Обобщенная схема СП с АИМ и КРОС

Вычитание сигнала оценки из принятого отсчета сигнала приводит к компенсации сигналов интерференции и, следовательно, к отсчетности ИР сквозного канала передачи в тактовые моменты времени.

Наличие обратной связи в КРОС приводит к эффекту размножения ошибок, возникающих при приеме. С целью устранения размножения ошибок КРОС заменяют предкорректором, который включается на передаче (рис. 3.3). Блок Мод осуществляет операцию ограничения сигнала по модулю. Оценки значений коэффициентов отводов предкорректора осуществляются на приеме и возвращаются на передающую сторону.



**Рисунок 3.3** – Обобщенная схема СП с АИМ и предкоррекцией

### 3.3 Квадратурная амплитудная модуляция

Квадратурная амплитудная модуляция (КАМ-модуляция) широко используется в современных СП благодаря своей простоте и высокой частотной эффективности. В КАМ-модуляции используются два квадратурных несущих сигнала, одновременно модулируемых по амплитуде передаваемыми информационными сигналами.

Квадратурными называются два гармонических сигнала с разностью фаз, равной  $\pi/2$ , – синусоидальные и косинусоидальные сигналы одной частоты:

$$\{\sin \omega_n t, \cos \omega_n t\}, \quad (3.2)$$

где  $\omega_n = 2\pi F_n$ ;  $F_n = 1/T_n$ ,

$F_n$  – частота несущего сигнала;

$T_n$  – период несущего сигнала.

Сигналы (3.2) ортогональны (см. (2.12)), что позволяет передавать и разделять их на приеме независимо:

$$\begin{aligned} \int_0^T \cos \omega_n t \cos \omega_n t dt &= \frac{T}{2}, \\ \int_0^T \sin \omega_n t \cos \omega_n t dt &= 0, \quad T = T_n, \\ \int_0^T \sin \omega_n t \sin \omega_n t dt &= \frac{T}{2}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Алгоритм КАМ-модуляции описывается формулой:

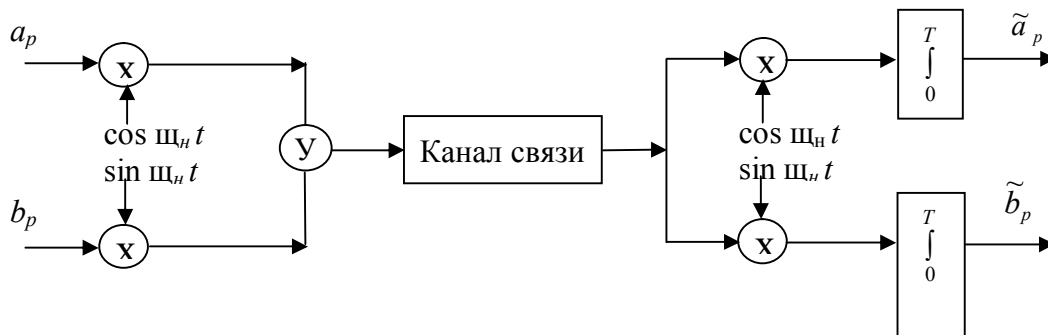
$$s(t) = a_k \cos \omega_n t + b_k \sin \omega_n t, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (3.4)$$

где  $a_k$  и  $b_k$  – значения передаваемых на  $k$ -м тактовом интервале кодовых символов.

Демодуляция сигналов (3.4) осуществляется на основе их ортогональности:

$$\begin{aligned} a_k &= \int_0^T s(t) \cdot \cos \omega_n t dt = \int_0^T a_p \cos^2 \omega_n t dt + \int_0^T b_p \sin \omega_n t \cdot \cos \omega_n t dt = \frac{a_p T}{2}, \\ b_k &= \int_0^T s(t) \cdot \sin \omega_n t dt = \int_0^T b_p \sin^2 \omega_n t dt + \int_0^T a_p \cos \omega_n t \cdot \sin \omega_n t dt = \frac{b_p T}{2}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

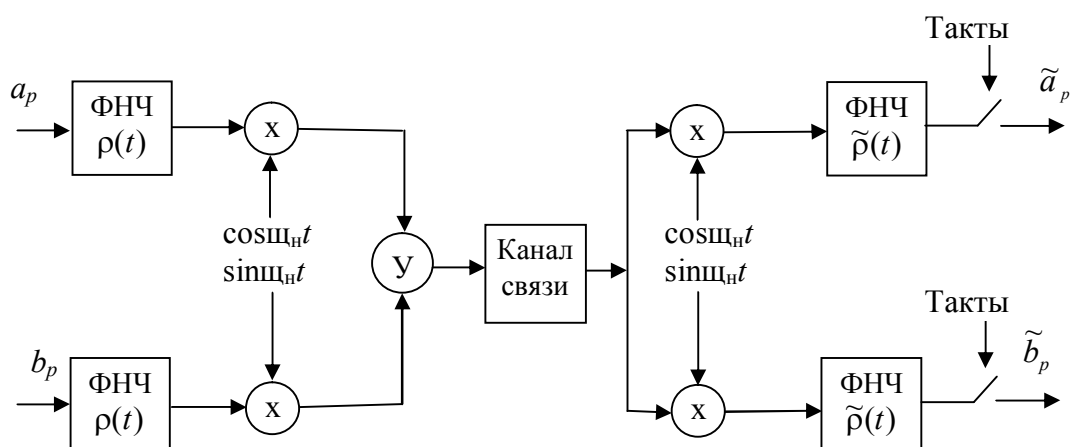
Схема КАМ модулятора-демодулятора приведена на рис. 3.4.



**Рисунок 3.4** – Схема модулятора-демодулятора КАМ

Распространены также и другие схемы модуляторов-демодуляторов КАМ, использующие формирующие фильтры нижних частот (ФНЧ) на передаче и согласованные фильтры на приеме, образующие вместе с каналом

связи канал передачи с найквистовой характеристикой (рис. 3.5,  $c(t)$  – ИР ФНЧ,  $\tilde{\rho}(t)$  – ИР согласованного фильтра).

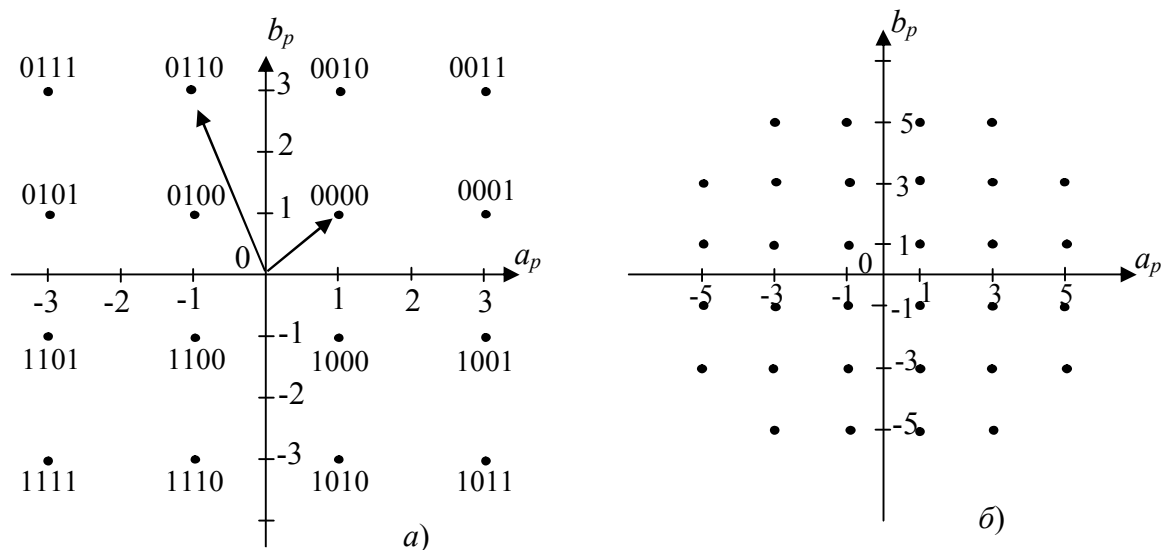


**Рисунок 3.5** – Фильтровый вариант модулятора-демодулятора КАМ

Сигнал на выходе модулятора

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p c(t - pT) \cdot \cos \omega_n t + b_p c(t - pT) \cdot \sin \omega_n t. \quad (3.6)$$

Для описания и анализа помехозащищенности сигналов КАМ широкое распространение получило их геометрическое представление, как это показано на рис. 3.6, а, б.



**Рисунок 3.6** – Сигнальные созвездия КАМ-16 (а) и КАМ-32 (б)

Несущие сигналы  $\cos \psi_n t$  и  $\sin \psi_n t$  рассматриваются в качестве ортогональных осей координат, а передаваемые на тактовом интервале сигналы  $a_p$  и  $b_p$  определяют координаты сигнальных точек на двухмерной плоскости в этой системе координат. Число битов информации, передаваемое за один такт, является целочисленным из набора  $n = 1, 2, 3, \dots, n_{\max}$  (как правило,  $n_{\max}$  не превышает 15), и соответствующее число сигнальных точек в двухмерной системе координат определяется числом  $M = 2^n$ . Совокупность сигнальных



точек на плоскости представляет собой сигнальное созвездие. Сигнальное созвездие для  $n = 4$  ( $M = 2^4 = 16$ ), содержащее 16 сигнальных точек, (КАМ-16), приведено на рис. 3.6, а. На рис. 3.6, б приведено сигнальное созвездие, содержащее 32 точки (КАМ-32). Для задания координат точек этого созвездия пять битов передаваемой информации перекодируются в координаты сигнальных точек  $a_p$  и  $b_p$ . Другие примеры сигнальных созвездий приведены в разделе 4. Несложно построить на базе описанных примеров созвездия КАМ-64, КАМ-128 и другие.

Достоинством сигнальных созвездий (решеток) КАМ, определившим их широкое применение, является их квазиоптимальность с позиций теории оптимального приема. При равновероятном распределении сигнальных точек оптимальным является сигнальное созвездие на основе треугольной решетки (сигнальные точки находятся в вершинах равностороннего треугольника). Квадратная сигнальная решетка проигрывает по помехозащищенности треугольной порядка 0,4 дБ, что является приемлемой платой в большинстве практически важных случаев за упрощение алгоритмов модуляции-демодуляции.

САР-модуляцию (Carrierless Amplitude and Phase modulation) можно рассматривать как разновидность КАМ-модуляции. Схема САР-модулятора приведена на рис. 3.7.

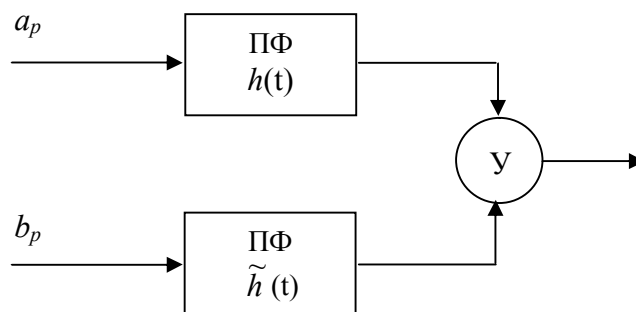


Рисунок 3.7 – Модулятор САР

Модулятор представляет собой пару полосовых фильтров (ПФ), импульсные реакции которых  $h(t)$  и  $\tilde{h}(t)$  сопряжены по Гильберту. Фильтры возбуждаются дискретными последовательностями информационных сигналов, поступающими с тактовой частотой  $F_0 = 1/T$ :

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p h(t - pT) + b_p \tilde{h}(t - pT). \quad (3.7)$$

Выходные сигналы (3.6) и (3.7) будут совпадать при условии:

$$h(t) = \rho(t) \cos \omega_n t, \quad \tilde{h}(t) = \rho(t) \sin \omega_n t. \quad (3.8)$$

### 3.4 Передача ортогональными гармоническими сигналами

СП ортогональными гармоническими сигналами (СП ОГС) обладают рядом специфических преимуществ перед другими типами СП с параллельной передачей сигналов, определившими их широкое использование для передачи по каналам связи разной природы, в том числе и по телефонным многопарным кабелям [3 – 6, 11].

В СП ОГС в полосе частот канала связи передается не одна модулированная несущая, а некоторое множество ортогональных, независимо модулируемых передаваемыми сигналами несущих. Число независимых несущих может достигать нескольких тысяч. В силу сказанного, этот вид модуляции называют многочастотной модуляцией, а вид передачи – многочастотным либо многоканальным.

Разделение передаваемых сигналов на приеме осуществляется на основе свойства их ортогональности. В зарубежной технической литературе метод параллельной передачи ОГС называют дискретной многотоновой передачей (модуляцией) – DMT (Discrete MultiTone). В радиосистемах за этим видом передачи (модуляции) закрепилось название ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

В СП ОГС в качестве несущих используются системы ортогональных сигналов, описываемых вещественными тригонометрическими функциями

$$\{\cos l\omega_0 t, \sin l\omega_0 t\}, l = 0, 1, 2, N-1, \omega_0 = 2\pi F_0, F_0 = \frac{1}{\tau_0}, \quad (3.9)$$

ортогональными на интервале  $\tau_0$ :

$$\begin{aligned} \int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \cos m\omega_0 t dt &= \begin{cases} 0, l \neq m, & l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \\ \tau_0 / 2, l = m, & l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \end{cases} \\ \int_0^{\tau_0} \sin l\omega_0 t \sin m\omega_0 t dt &= \begin{cases} 0, l \neq m, & l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \\ \tau_0 / 2, l = m, & l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \end{cases} \\ \int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \sin m\omega_0 t dt &= 0, l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \end{aligned} \quad (3.10)$$

где  $N$  – общее число ортогональных сигналов;

$l, m$  – переменные номеров сигналов.

Сигнал, соответствующий  $l = 0$ , для передачи не используется.

Спектры гармонических сигналов (3.9) длительностью  $\tau_0$  описываются формулой:

$$S(l, \omega) = \frac{\sin(\omega - l\omega_0) \cdot \tau_0 / 2}{\omega - l\omega_0}, -\infty < \omega < \infty, l = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (3.11)$$

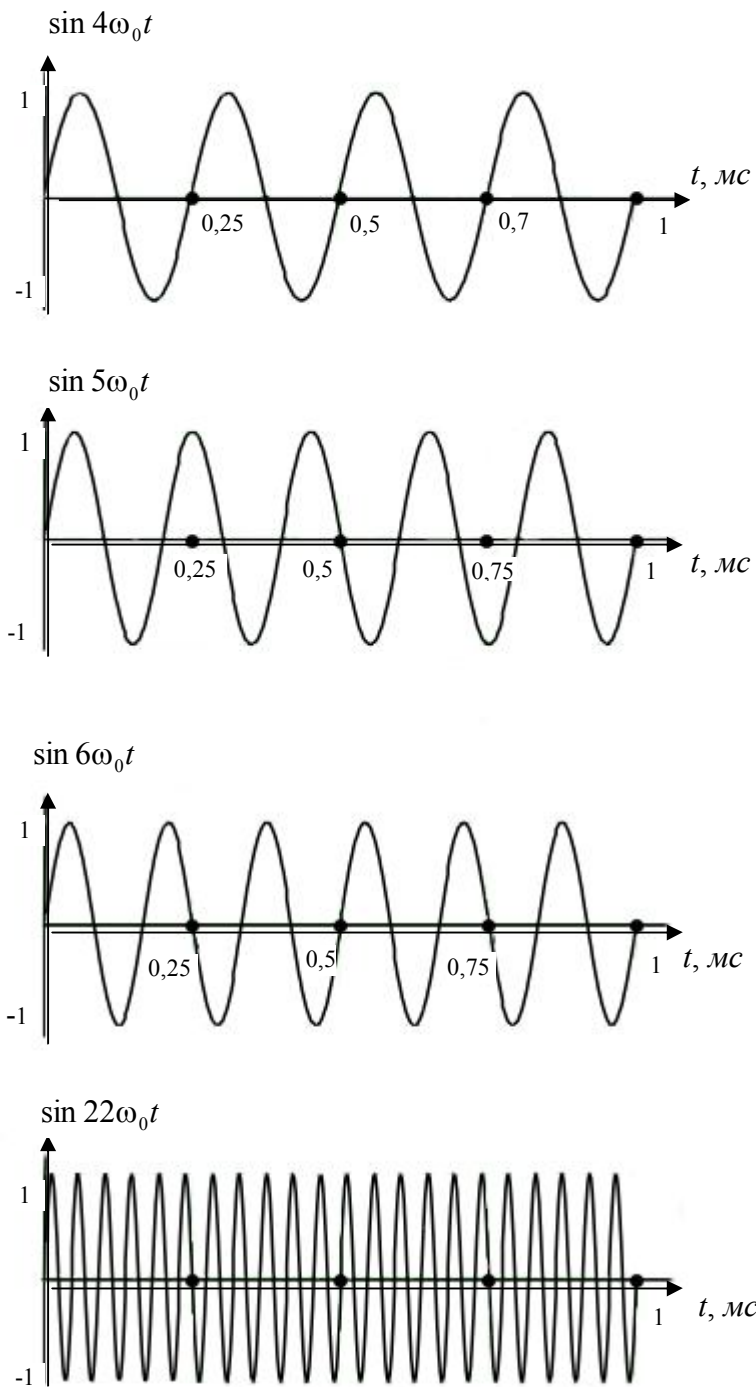
Спектры (3.11) определены на всей оси частот, т.е. бесконечны и убывают по частоте со скоростью, пропорциональной  $1/\omega$ .

На рис. 3.8 приведены примеры сигналов (3.9) для варианта:  $l = 4, 5, 6, 22$ ,  $\tau_0 = 10^{-3}$  с,  $N = 512$ , а на рис. 3.9 – их вещественные спектры.

При прохождении сигналов (3.9) через полосноограниченный канал связи их спектры (3.11) ограничиваются полосой частот пропускания канала, в результате чего длительность сигналов возрастает, и ортогональность принимаемых сигналов нарушается, что является причиной возникновения межсимвольных и межканальных интерференционных помех.

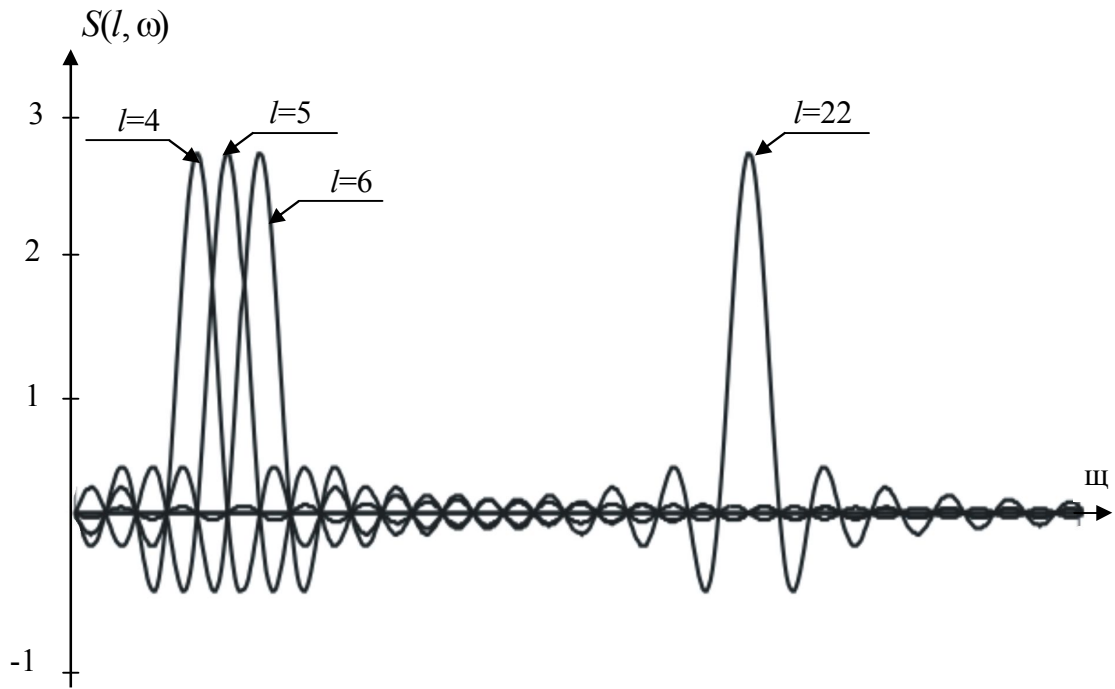
Длительность тактового интервала  $T$  (длительность передаваемой элементарной посылки) выбирается несколько большей длительности интервала ортогональности  $\tau_0$ . Их разность составляет защитный временной интервал  $\tau_3$  между последовательно передаваемыми единичными элементами группового сигнала, который вводится с целью повышения помехозащищенности сигналов СП ОГС от интерференционных помех.

Важным преимуществом системы ортогональных сигналов (3.9) перед другими ортогональными сигналами являются, во-первых, высокая концентрация энергии  $l$ -го сигнала в области частот  $(l-1)\omega_0 \leq \omega < (l+1)\omega_0$  и быстрое убывание энергии вне этого диапазона, во-вторых, существование быстрых методов реализации алгоритмов их модуляции и демодуляции. Система ортогональных сигналов имеет важные преимущества перед другими ортогональными сигналами: во-первых, это высокая концентрация энергии  $l$ -го сигнала в области частот  $(l-1)\omega_0 \leq \omega < (l+1)\omega_0$  и быстрое убывание энергии вне этого диапазона, во-вторых, существование быстрых методов реализации алгоритмов их модуляции и демодуляции.



**Рисунок 3.8** – Графики ортогональных гармонических сигналов

Каждая из пар сигналов (3.9) образует двухмерную систему координат, независимая модуляция каждой оси которой передаваемыми информационными сигналами реализует соответствующее КАМ-созвездие.



**Рисунок 3.9** – Пример спектров гармонических сигналов длительностью  $\tau_0$

Кодовые символы, подлежащие передаче на  $p$ -ом тактовом интервале,  $a_{1p}, b_{1p}, a_{2p}, b_{2p}, \dots, a_{np}, b_{np}$ ,  $-\infty < p < \infty$ , с тактовой частотой, равной  $1/T$ , поступают на входы амплитудных модуляторов и модулируют амплитуды квадратурных несущих:

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos l\omega_0(t - pT) \\ \sin l\omega_0(t - pT) \end{array} \right\}_{l=l_1}^{l_2}, \quad l_2 - l_1 + 1 = n, \quad (3.12)$$

где  $n$  – число используемых несущих из  $N - 1$  возможных;  $l_1$  и  $l_2$  – номера соответственно первой и последней используемых несущих.

Групповой сигнал на выходе передатчика представляет собой сумму модулированных несущих:

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} a_{lp} \cos l\omega_0(t - pT) + b_{lp} \sin l\omega_0(t - pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} A_{lp} \cos(l\omega_0(t - pT) + \varphi_{lp}), \quad (3.13)$$

$$\text{где } A_{lp} = \sqrt{a_{lp}^2 + b_{lp}^2}, \quad \varphi_{lp} = \arctg \frac{b_{lp}}{a_{lp}}.$$

На приемной стороне осуществляется разделение сигналов и выделение информационных сигналов с помощью корреляционной обработки:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{lp} &= \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \tilde{s}(t) \cos l\omega_0(t - pT) dt, \\ \tilde{b}_{lp} &= \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \tilde{s}(t) \sin l\omega_0(t - pT) dt, \quad l = l_1, l_1 + 1, \dots, l_2, \end{aligned} \quad (3.14)$$

где  $\tilde{s}(t)$  – групповой сигнал на входе приемника, прошедший через канал связи с передаточной функцией  $H(i\omega)$ .

Схема  $n$ -канальной СП ортогональными гармоническими сигналами приведена на рис. 3.10.

Практически операции модуляции в соответствии с формулой (3.13) и демодуляции в соответствии с формулой (3.14) при цифровой реализации систем передачи выполняются методами быстрого дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Операция модуляции определяется как обратное ДПФ (ОДПФ) последовательности комплексных чисел  $R_{lp}, l=0, 1, 2, \dots, 2N-1$ , сформированной на  $p$ -ом тактовом интервале:

$$s_p(n) = \sum_{l=0}^{2N-1} R_{lp} e^{i \frac{2\pi l n}{2N}}, \quad n=0, 1, 2, \dots, 2N-1, \quad (3.15)$$

а операция демодуляции – как прямое ДПФ (ПДПФ):

$$R_{lp} = \sum_{n=0}^{2N-1} s_p(n) e^{-i \frac{2\pi l n}{2N}}, \quad l=0, 1, 2, \dots, 2N-1. \quad (3.16)$$

Комплексная последовательность  $R_{lp}$  является комплексно-сопряженной и формируется следующим образом:

$$\begin{aligned} R_{lp} &= 0, \quad l=0, 1, \dots, l_1-1, \quad l=l_2+1, \dots, N, \\ R_{lp} &= a_{lp} + i b_{lp}, \quad l=l_1, l_1+1, \dots, l_2, \\ R_{lp} &= R_{2N-l, p}^*, \quad l=N, N+1, \dots, 2N-1, \end{aligned} \quad (3.17)$$

где знак (\*) означает операцию комплексного сопряжения.

Следует отметить, что в результате модуляции, выполняемой методом ОДПФ, формируется лишь  $2N$  цифровых отсчетов группового сигнала, соответствующих интервалу  $\tau_0$ . Формирование сигнала на интервале  $T$  осуществляется (в силу периодичности группового сигнала на интервале  $\tau_0$ ) повторением последних  $N_3$  отсчетов ( $N_3$  – число цифровых отсчетов сигнала на интервале  $\tau_3$ ) группового сигнала в начале посылки (эти отсчеты называют префиксом) (рис. 3.11, а). Защитный интервал может формироваться и в конце посылки периодическим повторением первых  $N_3$  отсчетов.

Рассмотрим более детально назначение защитного интервала, воспользовавшись для этого иллюстрациями к алгоритмам формирования и демодуляции сигналов СП ОГС, приведенным на рис. 3.11.

На рис. 3.11, а приведена временная диаграмма последовательности из трех посылок группового сигнала:  $p$ -ой,  $(p+1)$ -ой и  $(p+2)$ -ой. Длительности посылок  $T = \tau_0 + \tau_3$ .

На рис. 3.11, б приведены графики двух рассмотренных ранее сигналов:  $\sin 4\omega_0 t$  и  $\sin 5\omega_0 t$ . Пунктиром на графике показаны сигналы, дополненные на защитном интервале. Границы посылок являются моментами модуляции (для упрощения рисунка рассматривается случай, когда амплитуда сигнала не изменяется, – т.е. случай фазовой модуляции).

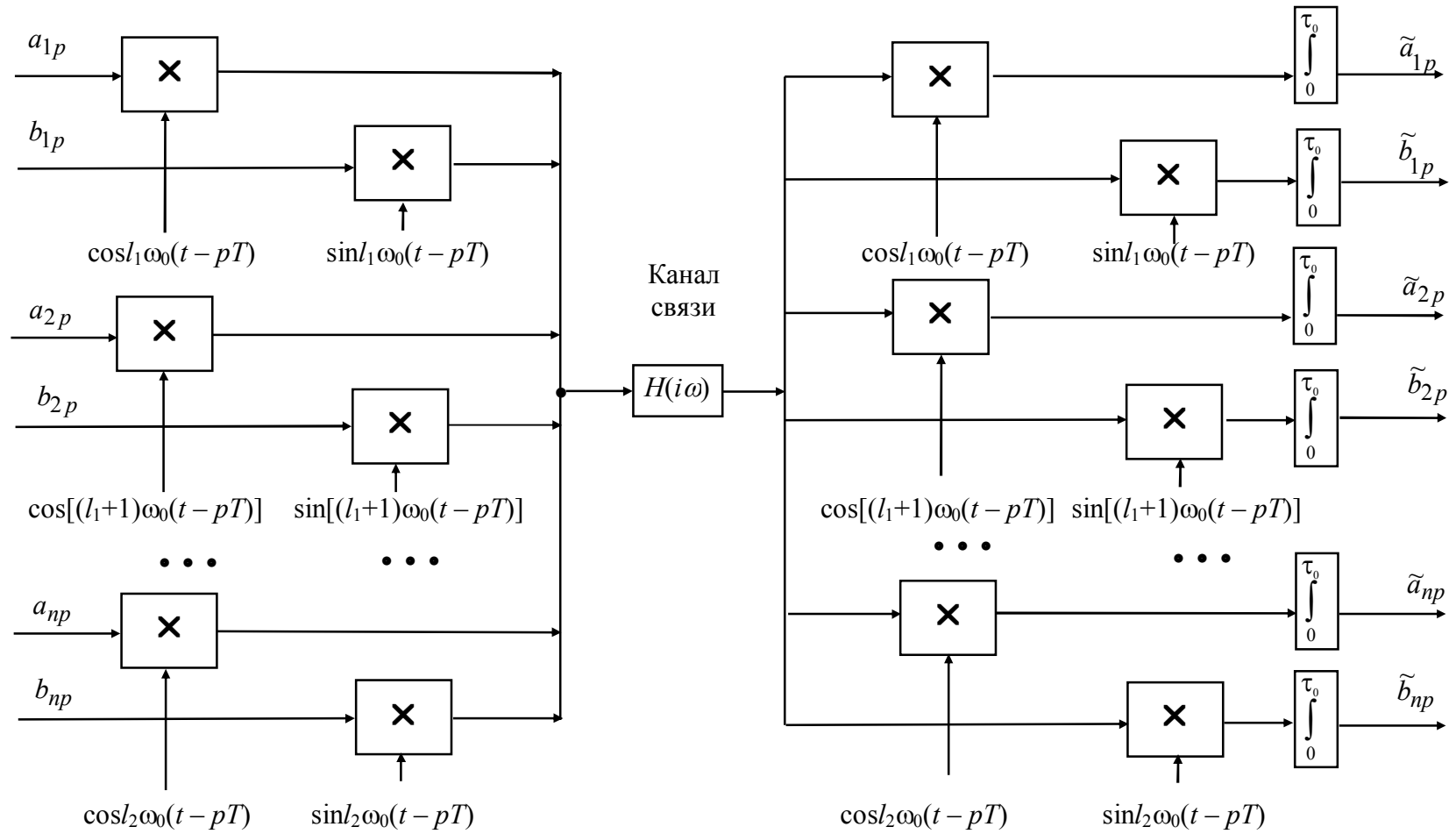


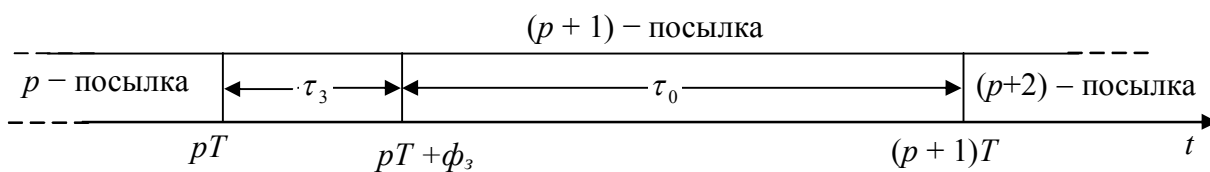
Рисунок 3.10 – Схема  $n$ -канальной СП с ортогональными гармоническими сигналами-переносчиками

В приемнике демодуляция группового сигнала (вычисление ПДПФ) осуществляется на интервале, равном длительности интервала ортогональности  $\tau_0$ . При приеме неискаженного сигнала (3.11, б) интервал обработки группового сигнала может занимать произвольные положения в пределах интервала  $T$  (рис. 3.11, д, положение интервалов интегрирования 1, 2). При этом изменяется начальная фаза демодулированных сигналов, но интерференционных помех не возникает, потому что сигналы-переносчики сохраняют ортогональность. Если же интервал интегрирования занимает положение 3 (рис. 3.11, д), то неизбежно возникают интерференционные помехи, поскольку в интервал обработки (интегрирования) попадают отсчеты следующей  $(p+2)$ -й посылки.

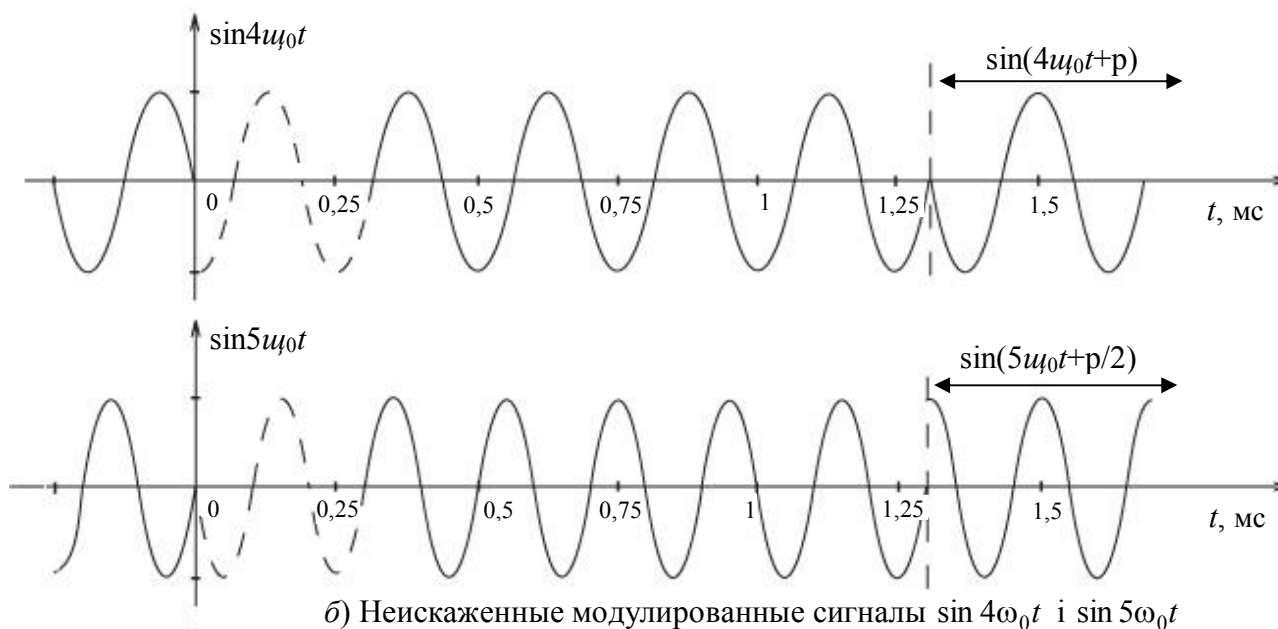
На рис. 3.11, в условно показан сигнал  $s(t) = \sin 4\omega_0 t$ ,  $pT \leq t < (p+1)T$ , который прошел через канал связи с импульсной реакцией (характеристикой) длительностью  $t_{up} = 0,3125$  мс. Сигнал искажился: у него появилось преддействие длительностью  $t_{up}$  и последствие такой же длительности. Суммарная длительность сигнала на выходе канала (входе приемника) увеличилась также на  $t_{up}$ . В результате этих линейных искажений сигналы-переносчики группового сигнала, которые следуют друг за другом, перекрываются, и их прием без межсимвольной интерференционной помехи возможен только при условии:  $t_{up} < T - \tau_0$ . Но при этом во избежание интерференционной помехи необходимо выбирать положение интервала интегрирования определенным образом. Для варианта рис. 3.11, в интерференционная помеха будет отсутствовать лишь в положении 2 (рис. 3.11, д).

Разные сигналы-переносчики группового сигнала, проходя по разным частотным участкам канала связи, испытывают разную временную задержку в результате неравномерности характеристики группового времени прохождения (ГВП). На рис. 3.11, г условно изображён сигнал  $s(t)$ , представляющий собой искажённую в результате прохождения через канал связи синусоиду  $\sin 5\omega_0 t$ ,  $pT \leq t < (p+1)T$ . Рассмотрим случай, когда задержка этого сигнала в канале связи превышает задержку искаженной синусоиды  $\sin 4\omega_0 t$ ,  $pT \leq t < (p+1)T$ , на интервал времени  $t_3$ , т.е. на выходе канала связи искаженная синусоида  $\sin 5\omega_0 t$  задержана относительно искаженной синусоиды  $\sin 4\omega_0 t$  на  $t_3$ . Как видно из рис. 3.11, в, г, д, для двух рассматриваемых сигналов не существует общего интервала интегрирования, на котором эти сигналы были бы неискаженными, а следовательно, ортогональными. Вследствие этого в обоих каналах наряду с межсимвольными порождаются также и межканальные интерференционные помехи. Величины этих помех определяются конкретными параметрами сигналов и частотной характеристикой канала связи.





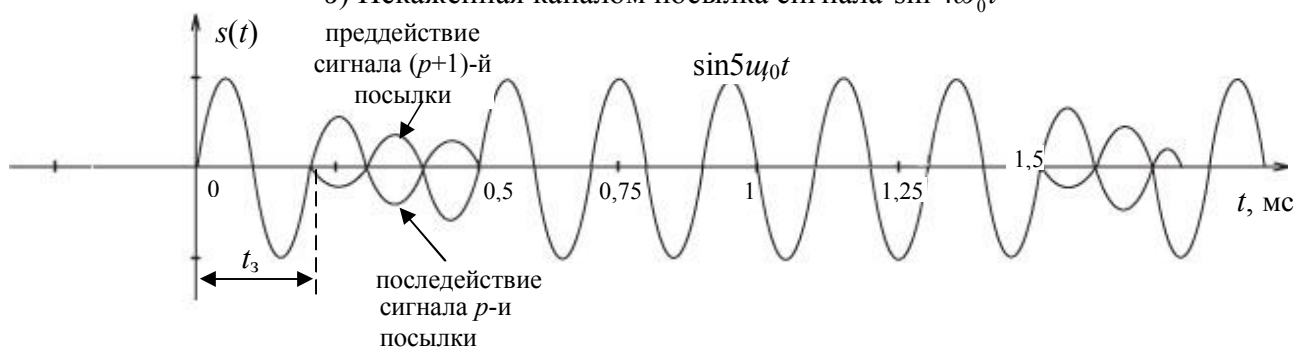
а) Временные соотношения в групповом сигнале



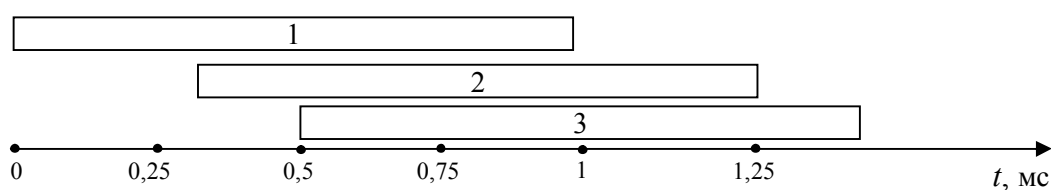
б) Неискаженные модулированные сигналы  $\sin 4\omega_0 t$  и  $\sin 5\omega_0 t$



в) Исканная каналом посылка сигнала  $\sin 4\omega_0 t$



г) Исканная каналом и задержанная на  $t_3$  посылка сигнала  $\sin 5\omega_0 t$



д) Положения интервалов интегрирования

**Рисунок 3.11** – Иллюстрации к алгоритмам формирования и демодуляции группового сигнала СП ОГС

Рассмотрим роль защитного интервала при передаче группового сигнала СП ОГС по каналу связи с многолучевым распространением сигналов. Для конкретности рассмотрим двухлучевой канал, каждый из лучей которого осуществляет плоское (частотно независимое) ослабление сигнала и его независимую задержку:

$$H(i\omega) = H_1 e^{-i\omega\tau_1} + H_2 e^{-i\omega\tau_2},$$

где  $H_1, H_2$  – коэффициенты ослабления сигналов;  $\tau_1, \tau_2$  – величины задержек сигналов.

Прохождение группового сигнала (3.13) по каналу связи с приведенной ПФ описывается выражением:

$$s'(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} A_{lp} H_1 \cos(l\omega_0(t - pT) + \varphi_{lp} + \varphi_{l1}) + A_{lp} H_2 \cos(l\omega_0(t - pT) + \varphi_{lp} + \varphi_{l2}),$$

где  $\varphi_{l1} = -l\omega_0\tau_1, \varphi_{l2} = -l\omega_0\tau_2$ ,

$$s'(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} A_{lp} H_1 \cos(l\omega_0(t - pT - \tau_1) + \varphi_{lp}) + A_{lp} H_2 \cos(l\omega_0(t - pT - \tau_2) + \varphi_{lp}). \quad (3.18)$$

С целью сокращения формул дальше опустим зависимость  $s'(t)$  от  $p$  и будем рассматривать только сигнал длительностью одной посылки. Формула (3.18) примет вид:

$$s'(t) = \sum_{l=l_1}^{l_2} A_l (H_1 \cos(l\omega_0 t + \varphi_l + \varphi_{l1}) + H_2 \cos(l\omega_0 t + \varphi_l + \varphi_{l2})).$$

Таким образом, принимаемый сигнал представляет собой сумму косинусоид с одинаковыми частотами. Сумма двух косинусоид с одинаковыми частотами, но разными амплитудами и фазами также есть косинусоида, поэтому последнее выражение для  $s'(t)$  можно переписать таким образом:

$$s'(t) = \sum_{l=l_1}^{l_2} A'_l \cos(l\omega_0 t + \varphi'_l);$$

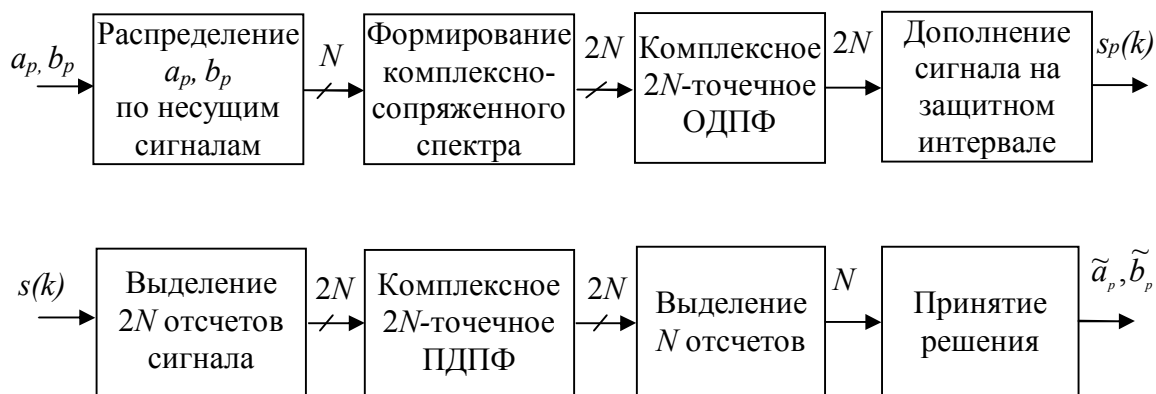
где  $A'_l = \sqrt{A_l^2 (H_1^2 + H_2^2 + 2H_1 H_2 \cos(\varphi_{l2} - \varphi_{l1}))}$ ;

$$\varphi'_l = \arctg \frac{H_1 \sin(\varphi_l + \varphi_{l1}) + H_2 \sin(\varphi_l + \varphi_{l2})}{H_1 \cos(\varphi_l + \varphi_{l1}) + H_2 \cos(\varphi_l + \varphi_{l2})}.$$

Очевидно, что приведенные рассуждения справедливы и для каналов связи с большим количеством лучей. Поэтому, если длительность защитного интервала  $\tau_3$  превышает максимальную разницу в задержках группового сигнала в многолучевом канале связи, то суммарный сигнал, полученный в результате сложения сигналов разных лучей на приеме (в антенне приемника), может быть демодулирован в приемнике без интерференционных помех. Этим свойством сигналов ОГС определяется их широкое применение в СП по радиоканалам.

Напомним, что вышеприведенное справедливо лишь для той части группового сигнала, которая не искажена каналом связи и переходными процессами между соседними посылками.

На рис. 3.12 приведены функциональные схемы алгоритмов многочастотной модуляции и демодуляции, выполняемых с помощью алгоритмов ДПФ.



**Рисунок 3.12** – Алгоритмы многочастотной модуляции-демодуляции:

а) – алгоритм многочастотной модуляции

б) – алгоритм многочастотной демодуляции

Алгоритм модуляции выполняется как  $2N$ -точечное ОДПФ  $2N$ -точечной последовательности, формируемой в соответствии с алгоритмом (3.17). Биты передаваемых кодовых символов на  $p$ -том тактовом интервале  $a_p, b_p$  распределяются по  $n$  несущим в количестве, определяемом типом КАМ-созвездия, и задают значения комплексных амплитуд  $R_{lp}$ ,  $l = l_1, l_1 + 1, \dots, l_2$ . Остальным несущим присваиваются нулевые значения амплитуд.

Таким образом, формируется  $N$ -мерный вектор

$$R_{lp}, l = 0, 1, 2, \dots, N - 1.$$

Затем размерность вектора  $R_{lp}$  удваивается путем дополнения его  $N$  комплексно-сопряженными амплитудами несущих в соответствии с алгоритмом (3.17) и осуществляется стандартное комплексное  $2N$ -мерное ОДПФ сформированной последовательности, в результате чего вычисляются  $2N$  отсчетов группового сигнала. Затем эти  $2N$  отсчетов периодически продолжаются на  $N_3$  цифровых отсчетов.

Последовательность, состоящая из  $2N + N_3$  отсчетов длительностью  $T$ , считывается последовательно по отсчету и поступает в виде дискретного цифрового сигнала  $s(k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, 2N + N_3$ , на устройство формирования спектра и далее на вход цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). С выхода ЦАП сигнал поступает на выходной блок передатчика и затем в аналоговой форме – на вход линии связи.

Алгоритмы демодуляции многочастотного сигнала повторяют в обратном порядке операции, выполненные при модуляции.

Во входном цифровом сигнале  $s(k)$  в результате работы системы тактовой синхронизации (СТС) приемника выделяются границы переданных сигналов, и формируется  $2N$ -мерный отрезок дискретного сигнала. Затем осуществляется

его ПДПФ, и из полученного  $2N$ -мерного комплексного вектора выделяется  $n$  комплексных амплитуд переданного сигнала (см. подробно раздел 4).

### 3.5 Кодирование с целью исправления ошибок в СП xDSL

С целью исправления ошибок, вносимых каналом связи, передаваемая информационная последовательность подвергается кодированию. Кодирование позволяет за счет внесения определенной избыточности в передаваемый сигнал понизить вероятность ошибки в принятом сигнале. Мерой способности кода к исправлению ошибок служит выигрыш кодирования, измеряемый в децибелах. Так, например, если выигрыш кодирования составляет 3 дБ, то это означает, что применение кодирования обеспечивает такую же вероятность ошибки в системе передачи, что и без кодирования, но с увеличенной вдвое передаваемой мощностью (т. е. большей на 3 дБ).

В СП xDSL нашли применение каскадные коды, используемые совместно с модуляцией, которые обеспечивают выигрыш кодирования до 9 дБ.

Каскадные коды были введены Форни [16] в качестве метода практической реализации кода с большой длиной блока и соответственно высокой корректирующей способностью. Эти цели достигаются путем применения нескольких уровней (каскадов) кодирования. Наиболее распространенной является схема с двумя уровнями кодирования. В качестве одного из кодов, называемого *внешним*, обычно используется код Рида–Соломона; в качестве *внутреннего* применяется один из ортогональных, коротких блоковых либо сверточных кодов.

Основные принципы каскадного кодирования с двумя уровнями иллюстрирует рис. 3.13.

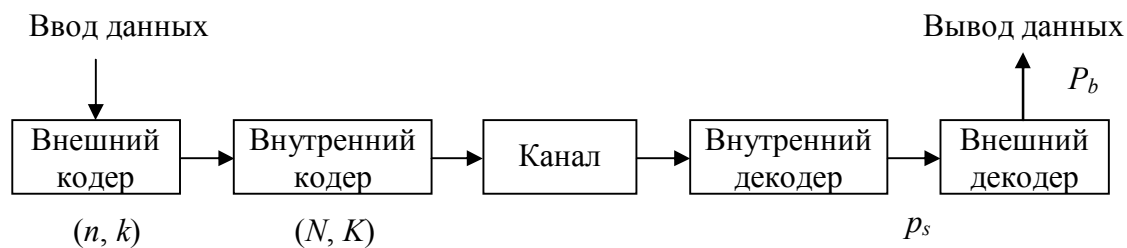


Рисунок 3.13 – Каскадное кодирование

Предполагается, что внешний код является блоковым и его блок состоит из  $n$  символов, причем  $k$  из них являются информационными. Далее символы, выходящие из кодера внешнего кода, кодируются кодером внутреннего кода. При этом добавляются  $(N - K)$  проверочных двоичных символов, так что длина блока внутреннего кода равна  $N$ .

На приемном конце могут использоваться как жесткие, так и мягкие решения. Результаты этих решений подаются на декодер внутреннего кода. Этот декодер дает оценку каждому символу внешнего кода со сравнительно малой вероятностью ошибки  $p_s$ . Затем декодер внешнего кода исправляет

ошибки символов, приводя к низкой окончательной вероятности ошибки двоичного символа  $P_b$ . Хотя общая длина кода равна  $nN$ , каскадирование обеспечивает такую структуру кода, что декодирование может осуществляться с помощью двух декодеров для кодов с длинами  $N$  и  $n$  соответственно. Это позволяет существенно снизить сложность декодирования по сравнению с той, которая потребовалась бы для получения той же вероятности ошибки при одном уровне кодирования. В качестве внешних в СП xDSL рекомендованы для применения коды Рида–Соломона. Эти коды наиболее распространены, поскольку являются кодами с максимальным расстоянием ( $d = n - k + 1$ ) и относительно просто реализуются.

Кодирование Рида–Соломона было впервые описано в 1960 году. Коды являются подмножеством циклических кодов, которые, в свою очередь, являются подмножеством блочных недвоичных кодов БЧХ, названных в честь Боуза, Рея–Чаудхури и Хоквингема, которые независимо изобрели их приблизительно в 1960 году.

Коды Рида–Соломона, применяемые в СП xDSL, используют арифметику полей Галуа – GF(D) (Galois Field), где  $D = 2^m$ ,  $m$  – положительное число, большее единицы. Коды Рида–Соломона  $(n, k)$  определены на всех  $m$ -битовых символах при всех  $n$  и  $k$ , для которых

$$0 < k < n < 2^m + 2,$$

где  $k$  – число информационных битов, подлежащих передаче, а  $n$  – число кодовых символов в кодированном блоке. Для большинства кодов Рида–Соломона

$$(n, k) = (2^m - 1, 2^m - 1 - 2t),$$

где  $t$  – количество ошибочных битов в символе, которое может исправить код, а  $n - k = 2t$  – число проверочных символов. Правила арифметики в GF(D) определяют результаты, когда два символа складываются, вычитаются, умножаются или делятся. Эти правила отличаются от правил в десятичных системах счисления.

Результатом кодирования Рида–Соломона являются кодовые слова, состоящие из фиксированного количества  $m$ -битовых информационных символов и фиксированного количества  $m$ -битовых проверочных символов.

В общем случае, количество символов, которые может исправлять декодер Рида–Соломона, равно половине используемых  $m$ -битовых проверочных символов.

Для формирования кодового блока символов Рида–Соломона размером  $n = k + r$  символов к  $k$  информационным символам  $m_0, m_1, \dots, m_{k-2}, m_{k-1}$  должны добавляться  $r$  проверочных избыточных символов  $c_0, c_1, \dots, c_{r-2}, c_{r-1}$ . Проверочные символы вычисляются из информационной последовательности символов следующим образом:

$$C(D) = M(D) D^r \bmod G(D), \quad (3.19)$$

где  $M(D) = m_0 D^{k-1} \oplus m_1 D^{k-2} \oplus \dots \oplus m_{k-1} D \oplus m_k$  – полином сообщения,

$C(D) = c_0 D^{r-1} \oplus c_1 D^{r-2} \oplus \dots \oplus c_{r-2} D \oplus c_{r-1}$  – проверочный полином;  
 $G(D) = \prod (D \oplus a^i)$  – образующий полином кода Рида–Соломона, где индекс произведения изменяется от  $i = 0$  до  $i = r - 1$ .

Таким образом,  $C(D)$  – это остаток от деления  $M(D) D^r$  на  $G(D)$ .

### 3.6 Перемежение сигналов

В качестве внутреннего кода в СП xDSL используются сверточные коды с алгоритмом декодирования Витерби. Однако ошибки на выходе декодера Витерби обычно группируются в пакеты, так что ошибки в последовательных символах, поступающих на декодер кода Рида–Соломона, будут коррелированы. Это снижает эффективность внешнего кодирования, поэтому применяется перемежение символов в передаваемой последовательности на передаче и восстановление исходного порядка следования сигналов на приемной стороне. В этом случае возникшие пачки ошибок в принятой последовательности сигналов после восстановления порядка следования сигналов распределяются равномерно по принятому кодовому блоку. Перемежение должно быть таким, чтобы никакие два символа на выходе декодера Витерби, расстояние между которыми меньше глубины перемежения, не принадлежали одному кодовому слову Рида–Соломона.

В основном применяется два типа перемежений: блочное перемежение и сверточное. Блочное перемежение передаваемых двоичных символов (битов) выполняется по правилу, иллюстрируемому табл. 3.1. Поступающие на вход блока перемежения двоичные символы передаваемого блока в порядке поступления записываются построчно в таблицу размерностью  $n \times b$ , где  $n$  – число строк таблицы,  $b$  – число столбцов, а число  $n \times b$  равно количеству символов в блоке.

Табл. 3.1 иллюстрирует пример блочного перемежения с глубиной перемежения  $n = 3$  и промежутком перемежения  $b = 7$ .

**Таблица 3.1** – Блочное перемежение с глубиной 3 и промежутком 7

Считывание в канал  
↑

Запись с  
выхода  
кодера →

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21

↑  
3  
↓

← 7 →

Числа в таблице обозначают порядок, в котором передаваемые символы поступают на вход блока перемежения. Таким образом, символы записываются в строки, а считываются же они по столбцам. Это означает, что порядок битов, поступающих в канал связи, будет следующим: 1, 8, 15, 2, 9, 16, 3, 10, 17, .... Таблица 3.2 иллюстрирует операцию, обратную блочному перемежению, при  $n = 3$  и  $b = 7$ .

В этом случае биты, пришедшие из канала, записываются в таблицу по столбцам, а считываются по строкам. Порядок битов в строках теперь будет соответствовать исходному, и биты в этом порядке будут считываться из таблицы и поступать на блок декодера.

**Таблица 3.2** – Операция обратного перемежения с глубиной 3 и промежутком 7

Запись из канала  
↓

Считывание  
к блоку  
декодирования ←

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21

Перемежение с такими параметрами ( $n = 3$  и  $b = 7$ ) может применяться для канала связи, в котором длина последовательностей ошибок не превышает трех битов. В этом случае пачка из трех ошибок на выходе блока обратного перемежения равномерно распределяется по принятому кодовому блоку, и возникшие ошибки могут быть эффективно исправлены кодом. Однако в реальных каналах связи количество ошибок в пачке может значительно превышать три, поэтому практически используется перемежение с большими значениями параметров  $n$  и  $b$ . Платой за исправление порождаемых каналом ошибок является вносимая в процесс передачи информации задержка, равная  $2nb$  бит, которая для ряда приложений строго нормируется, что требует поиска компромисса между величинами допустимой задержки и допустимой вероятности ошибок.

В этом плане сверточное перемежение является более эффективным по требованиям к памяти и по величине задержки способом борьбы с группированием ошибок, чем блочное. Табл. 3.3 иллюстрирует сверточное перемежение с размером кодового слова  $b = 7$  и глубиной  $n = 3$ .

**Таблица 3.3** – Сверточное перемежение с глубиной перемежения  $n = 3$  и с размером кодового слова  $b = 7$

Считывание  
в канал связи  
↑

Запись  
в таблицу →

$V_1^1$	$V_2^1$	$V_3^1$	$V_4^1$	$V_5^1$	$V_6^1$	$V_7^1$	$V_1^4$	$V_2^4$	$V_3^4$	...
.	$V_1^2$	$V_2^2$	$V_3^2$	$V_4^2$	$V_5^2$	$V_6^2$	$V_7^2$	$V_1^5$	$V_2^5$	...
.	.	$V_1^3$	$V_2^3$	$V_3^3$	$V_4^3$	$V_5^3$	$V_6^3$	$V_7^3$	$V_1^6$	...

. – от предыдущих кодовых слов

В этом примере верхний индекс бита  $B$  представляет собой номер кодового слова, которому  $B$  принадлежит, нижний индекс – номер бита внутри кодового слова. Кодовые слова снова записываются по строкам и считываются по столбцам. Разница между этой схемой и схемой блочного перемежения состоит в том, что при сверточном перемежении кодовые слова начинаются не в одном и том же столбце, как это происходит при блочном перемежении, а в разных. К тому же строки не имеют конца. Глубина и длина перемежения определяют, куда будет записываться следующее кодовое слово – в следующую строку или в верхнюю строку.

Табл. 3.4 иллюстрирует операцию, обратную сверточному перемежению, осуществляемую в приемнике.

**Таблица 3.4** – Обратное сверточное перемежение с глубиной  $b = 3$  и размером кодового слова  $= 7$

Запись из  
канала связи

↓

Считывание ←

$B_1^1$	$B_2^1$	$B_3^1$	$B_4^1$	$B_5^1$	$B_6^1$	$B_7^1$	$B_1^4$	$B_2^4$	$B_3^4$	...
•	$B_1^2$	$B_2^2$	$B_3^2$	$B_4^2$	$B_5^2$	$B_6^2$	$B_7^2$	$B_1^5$	$B_2^5$	...
•	•	$B_1^3$	$B_2^3$	$B_3^3$	$B_4^3$	$B_5^3$	$B_6^3$	$B_7^3$	$B_1^6$	...

• – от предыдущих кодовых слов

Здесь биты записываются по столбцам и считываются по строкам, после чего поступают на блок помехоустойчивого кодирования. При обратном сверточном перемежении из каждой строки таблицы сначала считывается только одно кодовое слово, а затем то же самое происходит в следующей строке. Это осуществляется до тех пор, пока не считывается кодовое слово из последней строки таблицы. После этого снова происходит считывание первой строки, начиная с первого, не считанного прежде, бита.

Сверточное перемежение может распределять кодовое слово длины  $n$  по интервалу  $nb$ , внося задержку длительностью  $(n - 1)b$  битов.

Отметим, что рассмотренные примеры перемежения оперируют битами (глубина и размер кодового слова выражаются в битах). Однако многие схемы кодирования работают на уровне байтов (например, коды Рида – Соломона, действующие в GF (256)) или вообще на уровне символов. Естественно, что схемы перемежения, которые применяются в комплексе с работающими на байтовом или символьном уровне кодами, обычно функционирует также на уровне байтов или символов. Например, если принять размер кодового слова равным семи байтам, то перемежение будет происходить на уровне байтов, а вносимая сверточным перемежением задержка будет составлять  $nb$  байтов.

Следует заметить, что возможны и другие типы перемежений, например псевдослучайное перемежение.



### 3.7 Сверточное кодирование

В качестве внутренних кодов в СП xDSL применяются сверточные коды, которые используются совместно с модуляцией, реализуя сигнально-кодовые конструкции.

Сверточное кодирование осуществляется путём пропускания передаваемой информационной последовательности через линейный сдвиговый регистр с конечным числом состояний. В общем случае регистр сдвига состоит из  $K$   $k$ -битовых ячеек и линейного преобразователя, состоящего из  $n$  функциональных генераторов и выполняющего алгебраические функции, как показано на рис. 3.14 ( $\oplus$ , как и раньше, означает суммирование по модулю 2).

Входные данные кодера, которые считаются двоичными, продвигаются вдоль регистра сдвига по  $k$  битов за такт. Число выходных битов для каждой  $k$ -битовой входной последовательности равно  $n$ . Следовательно, кодовая скорость, определенная как  $R_c = k/n$ , является скоростью блочного кода. Параметр  $K$  называется кодовым ограничением.

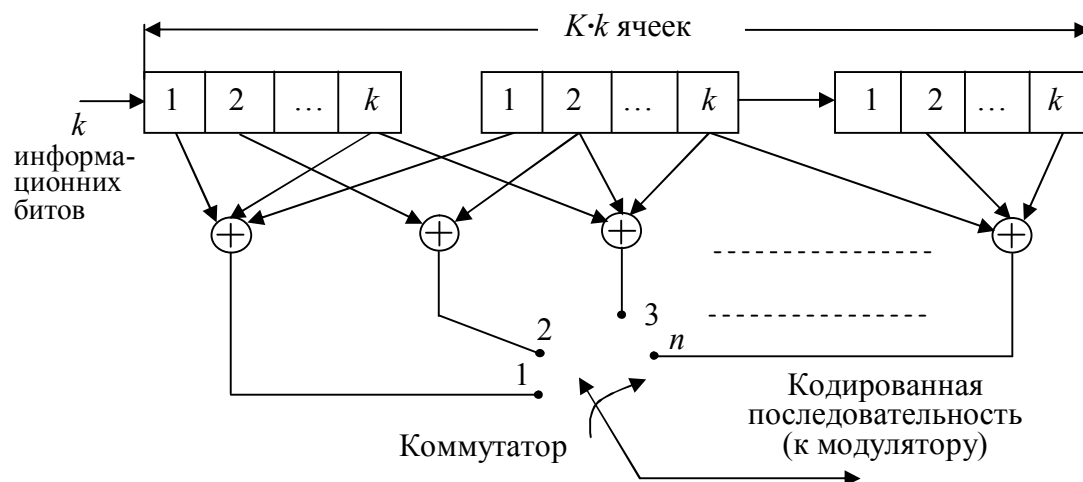


Рисунок 3.14 – Обобщенная схема сверточного кодера

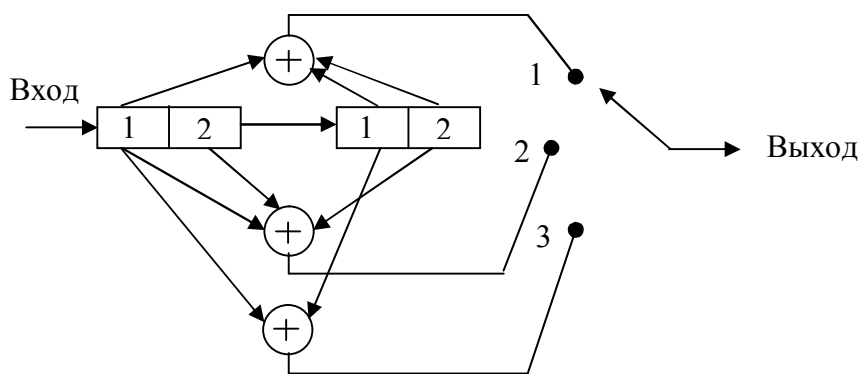
Для примера рассмотрим сверточный кодер со скоростью кода  $2/3$  ( $K = 2$ ,  $k = 2$ ,  $n = 3$ ), показанный на рис. 3.15. В этом кодере каждый раз два бита поступают на вход регистров сдвига, а на выходе генерируются три бита.

Генераторы определяются векторами

$$g_1 = [1011], g_2 = [1101], g_3 = [1010].$$

Имеются три альтернативных метода, которые часто используются для описания сверточного кода. Это древовидная диаграмма, решётчатая диаграмма<sup>2</sup> и диаграмма состояний. Например, древовидная диаграмма для сверточного кодера (см. рис. 3.15), показана на рис. 3.16.

<sup>2</sup> В связи с этим сверточные коды называют также решётчатыми (trellis code)

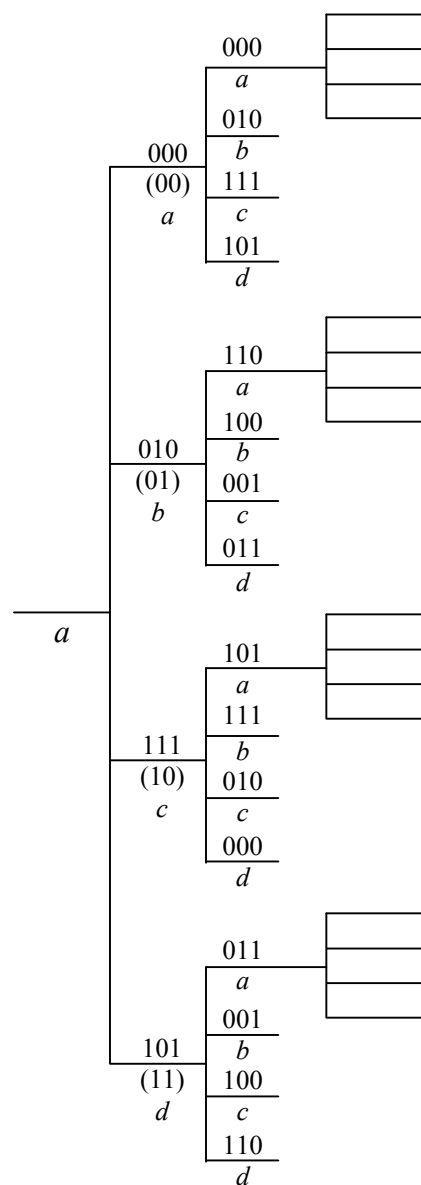


**Рисунок 3.15** – Сверточный кодер с  $K = 2$ ,  $k = 2$ ,  $n = 3$

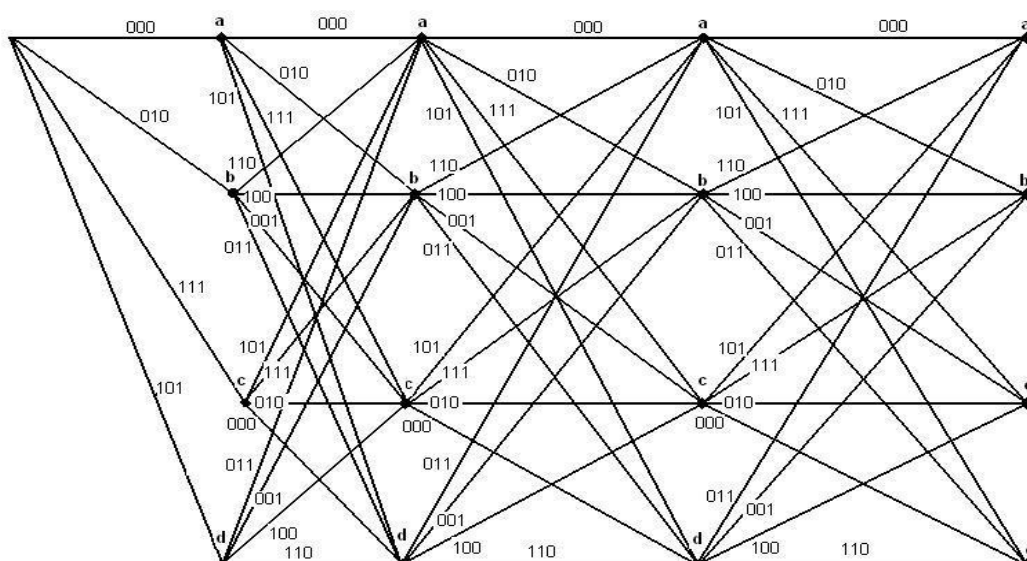
Первыми двумя входными битами кодера могут быть 00, 01, 10 или 11. Соответствующие выходные биты при первоначально обнуленном регистре кодера будут такими: 000, 010, 111, 101. Когда следующая пара входных битов поступает в кодер, первая пара передвигается в следующую ячейку. Соответствующие выходные биты зависят от пары битов, переместившихся во вторую ячейку, и новой пары входных битов. Следовательно, древовидная диаграмма для этого кода, показанная на рис. 3.16, имеет четыре ветви на узел, соответствующие четырём возможным парам входных символов. Поскольку кодовое ограничение кодера  $K = 2$ , дерево начинает повторяться после второго шага. Как показано на рис. 3.16, все ветви, исходящие из узла, обозначенного  $a$  (состояния  $a$ ), дают идентичные выходы.

Путём слияния узлов, имеющих одинаковое название, мы получаем решётку, показанную на рис. 3.17.

Отметим, что свёрточный код со скоростью  $k/n$  и кодовым ограничением  $K$  характеризуется  $2^k$  ветвями, исходящими от каждого узла на древовидной диаграмме. Решётка и диаграмма состояний имеют (каждая из них)  $2^{k(k-1)}$  возможных состояний. Имеются  $2^k$  ветвей, входящих в каждое состояние, и  $2^k$  ветвей, покидающих каждое состояние (для решётки и дерева это верно после наступления установившегося режима).

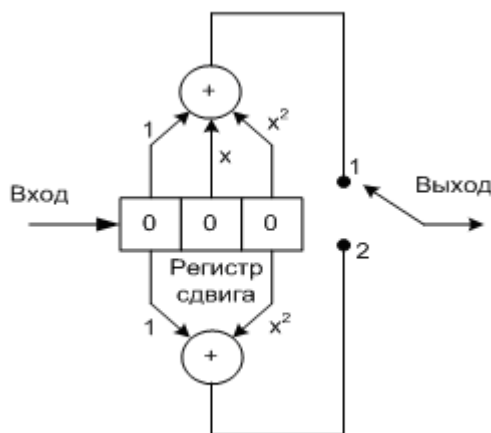


**Рисунок 3.16** – Древовидная диаграмма для свёрточного кода с параметрами  $K = 2$ ,  $k = 2$ ,  $n = 3$



**Рисунок 3.17** – Решётчатая диаграмма для свёрточного кода с параметрами  $K = 2$ ,  $k = 2$ ,  $n = 3$

На рис. 3.18 показан сверточный кодер со скоростью  $1/2$  и длиной ограничения  $K = 3$ .



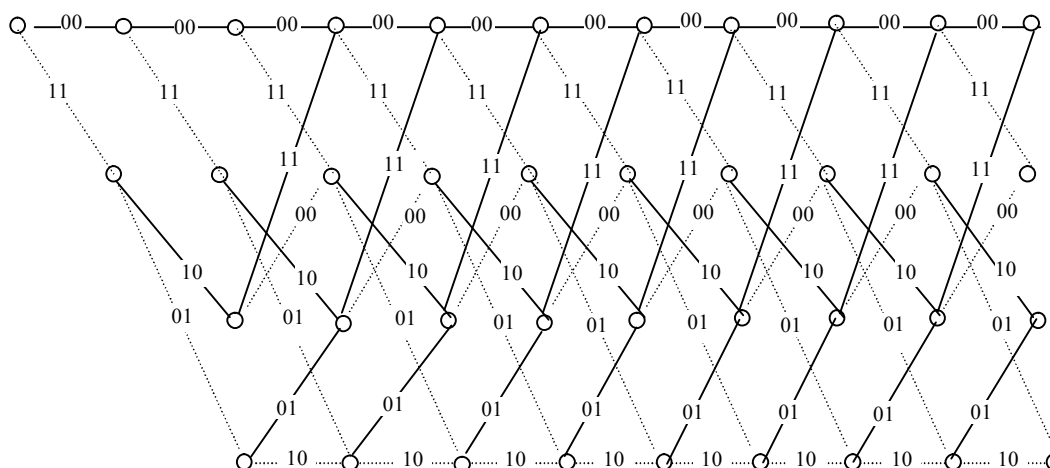
**Рисунок 3.18** – Сверточный кодер со скоростью  $1/2$  ( $K = 3, k = 1, n = 2$ )

В табл. 3.5 приведены значения выходов кодера, соответствующие некоторой входной последовательности, приведенной в верхней строке таблицы.

**Таблица 3.5** – Значения входных и выходных сигналов сверточного кодера

Вход	0		0		1		0		1		0		0		0		1		1	
Выход	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1

Решетка, характеризующая работу рассматриваемого сверточного кодера, приведена на рис. 3.19. Каждый узел решетки представляет собой состояние кодера. К каждому состоянию ведут две линии, и из каждого состояния исходят две линии. Когда на вход кодера поступает очередной бит информации, происходит переход между текущим состоянием и новым состоянием.



**Рисунок 3.19** – Диаграмма, характеризующая работу сверточного кодера со скоростью  $1/2$

Линия, соединяющая текущее и новое состояние, будет сплошной, если на вход кодера поступил 0, и пунктирной, если 1. Двухбитовая надпись на каждом переходе характеризует выход кодера после того, как произошел этот переход.

Декодирование сверточных кодов выполняется по алгоритму Витерби с помощью решетки, описывающей работу кодера. Сущность алгоритма Витерби заключается в следующем. Каждому переходу (пути) между узлами решетки соответствует определенная допустимая комбинация битов на выходе кодера. Декодер на каждом тактовом интервале вычисляет расстояние в принятой метрике, например в метрике Хемминга, от принятой с возможными ошибками комбинации битов до всех комбинаций битов, соответствующих переходам между узлами решетки. Эти расстояния называют метриками путей. Метрики пути, вычисленные на каждом тактовом интервале, суммируются, образуя метрику составного пути. При этом выполняется правило, в соответствии с которым из всех путей, приходящих в один узел, «выжившим» считается тот, который обладает минимальной метрикой. Так, например, для случая решетки, приведенной на рис. 3.19, «выжившими» на каждом такте будут четыре пути со своими метриками. С ростом числа тактов приема расстояние между «выжившими» путями увеличивается, и при некотором значении расстояния алгоритм принимает решение о выборе пути с наименьшей метрикой. Биты, соответствующие этому пути, выдаются на выход декодера, а процесс декодирования продолжается.

### **3.8 Сигнально-кодовые конструкции**

Кодирование приводит к увеличению требуемой скорости передачи по каналу связи, которое в каналах связи без ограничения полосы частот обеспечивается за счет расширения полосы частот передаваемого сигнала. В каналах связи, полоса частот которых жестко ограничена, увеличение скорости передачи осуществляется за счет увеличения числа позиций сигналов-переносчиков. Так, например, вместо двухуровневой АИМ, применяемой для передачи некодированной информационной последовательности, для передачи этой последовательности, кодированной кодом со скоростью  $1/2$ , необходимо использовать уже как минимум четырехуровневую АИМ. Но это повлечет за собой при условии сохранения прежней вероятности ошибки необходимость увеличения мощности передаваемого сигнала примерно на 4 дБ. Следовательно, применять кодирование имеет смысл лишь в случае, если выигрыш за его счет превышает потери, в данном случае – упомянутые 4 дБ. Исследования показали, что при независимом от модуляции кодировании для получения приемлемого выигрыша кодирования необходимы мощные коды, требующие значительных затрат на декодирование. Выход был найден на пути объединения кодирования с модуляцией. Операция модуляции рассматривается совместно с операцией кодирования с целью увеличения минимального евклидова расстояния между парами кодированных сигналов. При таком подходе при достаточно простых кодах достигается приемлемый выигрыш

кодирования. Результат такого объединения называют сигнально-кодовой конструкцией (СКК). В основе построения СКК лежит предложенный Унгербоеком в 1982 году метод отображения кодовых символов в сигнальные точки [16, 17].

В основе отображения лежит последовательное разделение точек сигнального созвездия на поднаборы – подансамбли, содержащие вдвое меньшее число точек с соответственно большим минимальным расстоянием между ними.

Продемонстрируем этот подход на примере разделения ансамбля сигналов ФМ-8 (рис. 3.20).

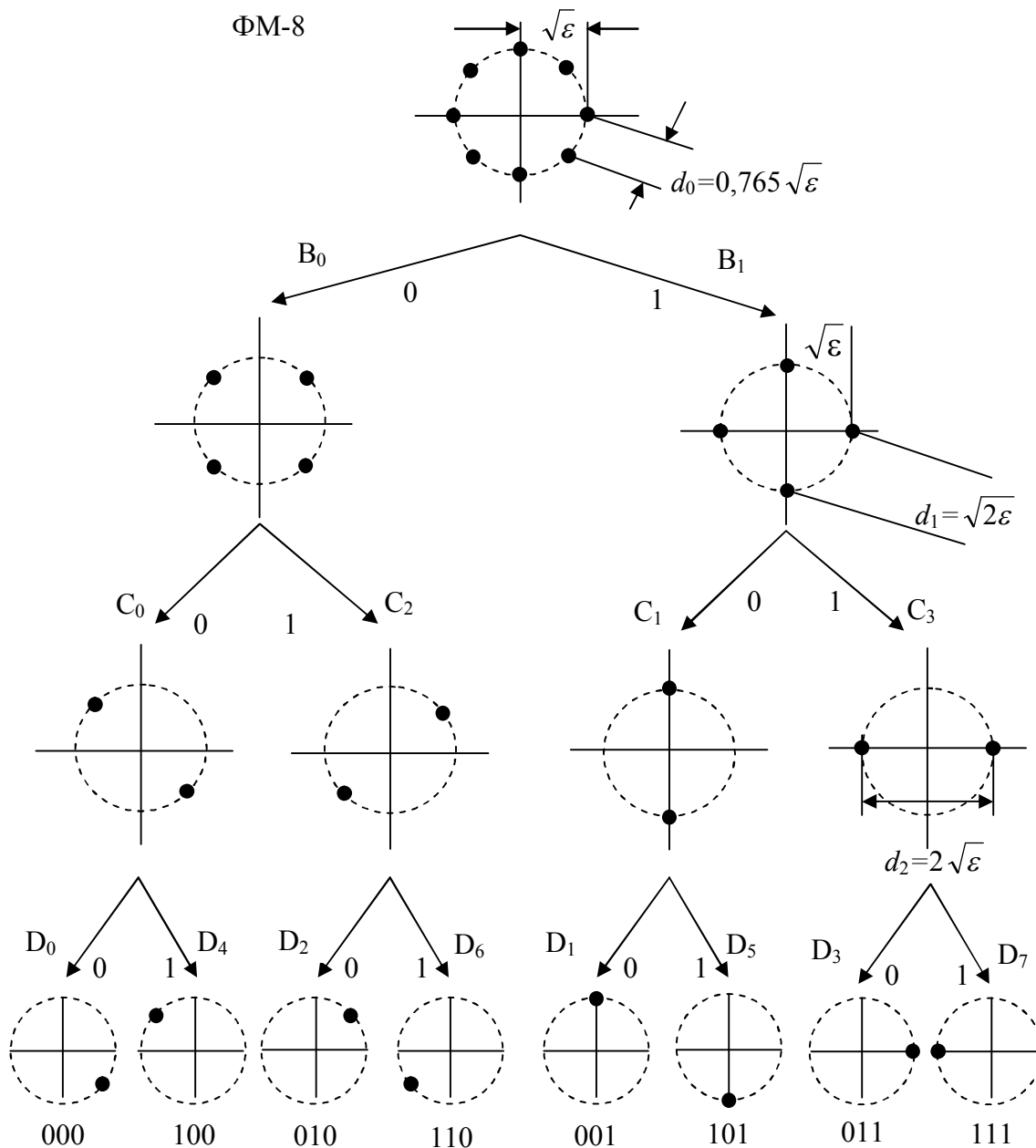


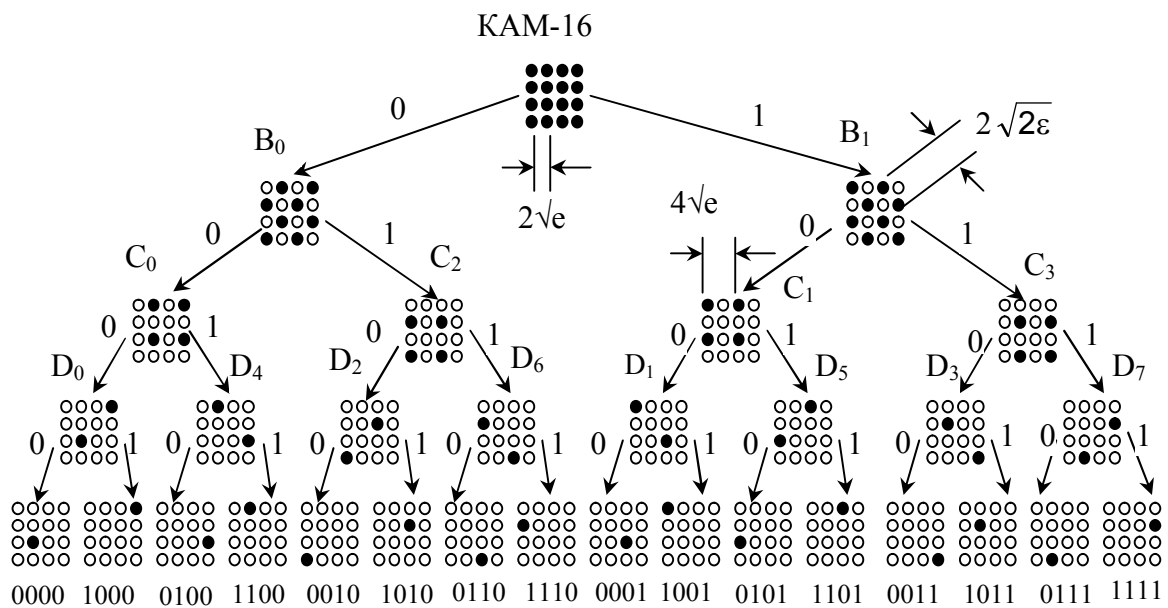
Рисунок 3.20 – Разделение ансамбля сигналов ФМ-8 на подансамбли

При первом разделении восемь точек ансамбля ФМ-8 подразделяются на два подансамбли из четырех точек в каждом так, что минимальное расстояние

между точками увеличивается от  $d_0 = 0,765\sqrt{\varepsilon}$  до  $d_1 = \sqrt{2\varepsilon}$ . На втором уровне разделения каждый из двух подансамблей вновь разделяется на два подансамбля из двух точек и минимальное расстояние при этом увеличивается до  $d_2 = 2\sqrt{\varepsilon}$ . В результате получилось четыре подансамбля с двумя точками в каждом. Наконец, последняя ступень разделения ведет к восьми подансамблям, где каждый подансамбль состоит из единственной точки. Заметим, что каждый уровень разделения увеличивает минимальное евклидовое расстояние между сигнальными точками.

Другим примером, иллюстрирующим подход Унгербоэка, является разделение сигнального созвездия КАМ-16 (рис. 3.21).

Сначала 16-точечное сигнальное созвездие делится на два подансамбля, как показано на рис. 3.21. Минимальное расстояние между сигнальными точками увеличивается при первом разделении с  $2\sqrt{\varepsilon}$  до  $2\sqrt{2\varepsilon}$ . Дальнейшее разделение двух подансамблей ведет к дальнейшему увеличению евклидова расстояния между сигнальными точками. Для прямоугольного сигнального созвездия каждый уровень разделения увеличивает минимальное евклидово расстояние в  $\sqrt{2}$  раз, то есть  $d_{i+1}/d_i = \sqrt{2}$  для всех  $i$ .



**Рисунок 3.21** – Разделение ансамбля сигналов КАМ-16 на подансамбли

В этих двух примерах разделение ведется до тех пор, пока каждый подансамбль не будет содержать только одну сигнальную точку. Вообще, это не всегда необходимо. Например, сигнальное созвездие 16-точечной КАМ можно разделить только дважды, чтобы получить четыре подансамбля с четырьмя сигнальными точками в каждом. Аналогично, сигнальное созвездие восьмифазовой ФМ можно разделить дважды, чтобы получить четыре подансамбля с двумя сигнальными точками в каждом.

Смысл такого разделения заключается в том, что оно дает возможность подвергать кодированию лишь те двоичные символы, которым соответствуют

сигнальные точки созвездия, находящиеся на близких расстояниях, в силу чего они наиболее подвержены воздействию шумов и ошибочно декодируются. Некодированные биты в случае, например, сигнального созвездия КАМ определяют квадрант или часть квадранта, где будет находиться сигнальная точка. Кодированные биты являются самыми младшими битами в КАМ-символе, определяющими координаты соседних точек созвездия. Кодирование самых младших битов уменьшает вероятность того, что соседние точки созвездия будут неправильно декодироваться (это наиболее распространенный тип ошибок в КАМ).

Алгоритм кодирования показан на рис. 3.22.

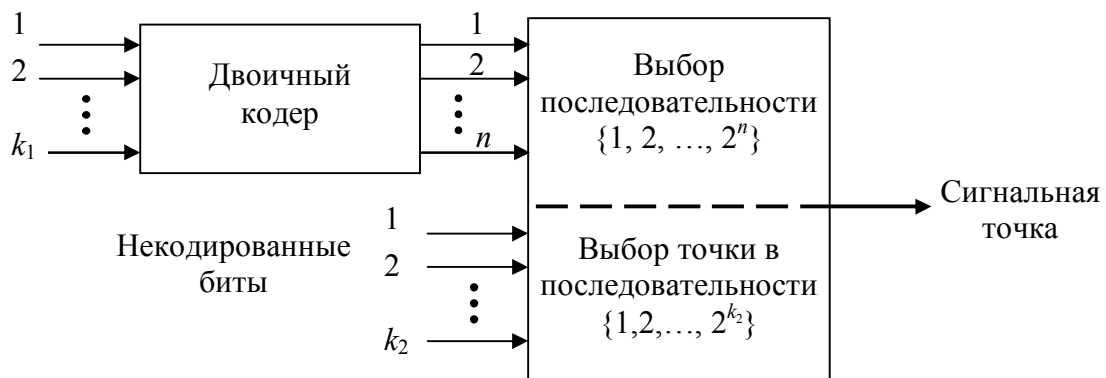


Рисунок 3.22 – Общая структура комбинированного кодера/модулятора

Блок из  $m$  информационных символов делится на две группы длиной  $k_1$  и  $k_2$ ;  $k_1$  символов перекодируются в  $n$  символов, в то время как  $k_2$  символов остаются некодированными. Затем  $n$  символов кодера используются для выбора одного из  $2^n$  возможных подансамблей в разделенном ансамбле сигналов, в то время как  $k_2$  символов используются для выбора одной из  $2^{k_2}$  сигнальных точек в каждом подансамбле. Если  $k_2 = 0$ , то все  $m$  информационных символов кодируются. В качестве кода может быть использован, в принципе, любой код, исправляющий ошибки. Однако распространение в сигнально-кодовых конструкциях получили сверточные коды.

На рис. 3.23 приведен пример использования сверточного кода со скоростью  $1/2$  для кодирования одного информационного символа двухбитовой последовательности, в то время как второй информационный символ остается некодированным. В результате такого преобразования передаваемой последовательности образуется трехбитовая последовательность, для передачи которой необходимо восьмиточечное сигнальное созвездие, например восьмифазовая ФМ или восьмиточечная КАМ или АИМ. Два кодированных символа используются для выбора одного из четырех подансамблей сигнального созвездия, в то время как оставшийся информационный символ используется для выбора одной из двух точек внутри каждого подансамбля.

Решетчатая диаграмма, описывающая схему кодера, приведена на рис. 3.24.



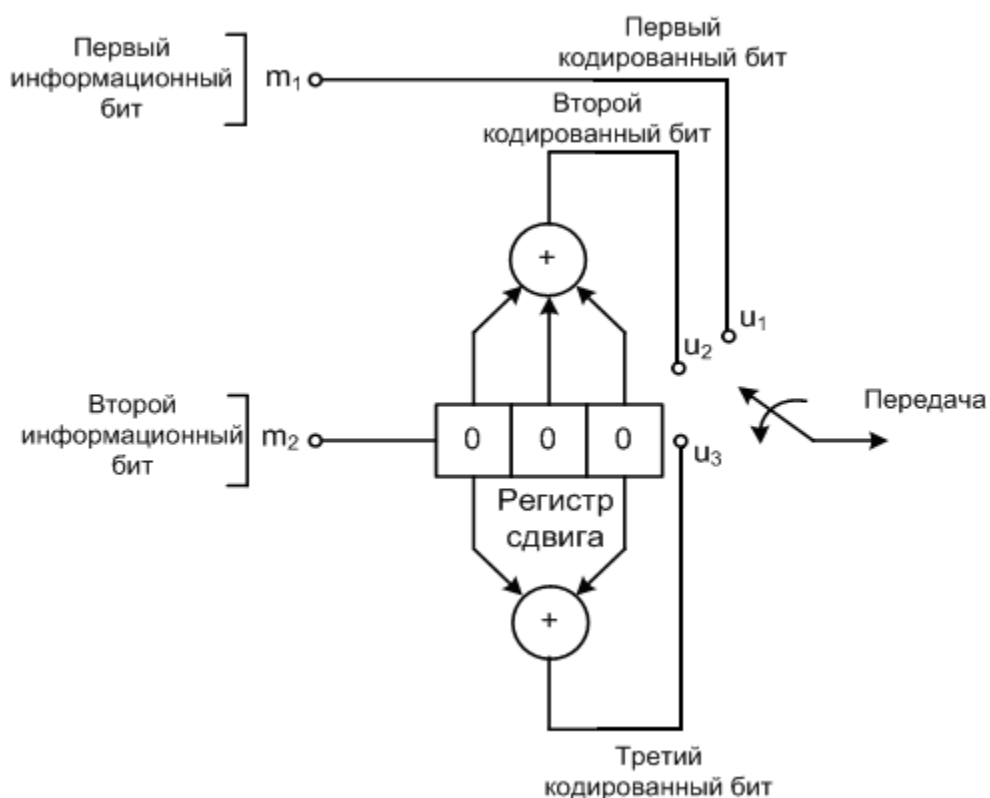


Рисунок 3.23 – Кодер СКК со скоростью кодирования 2/3

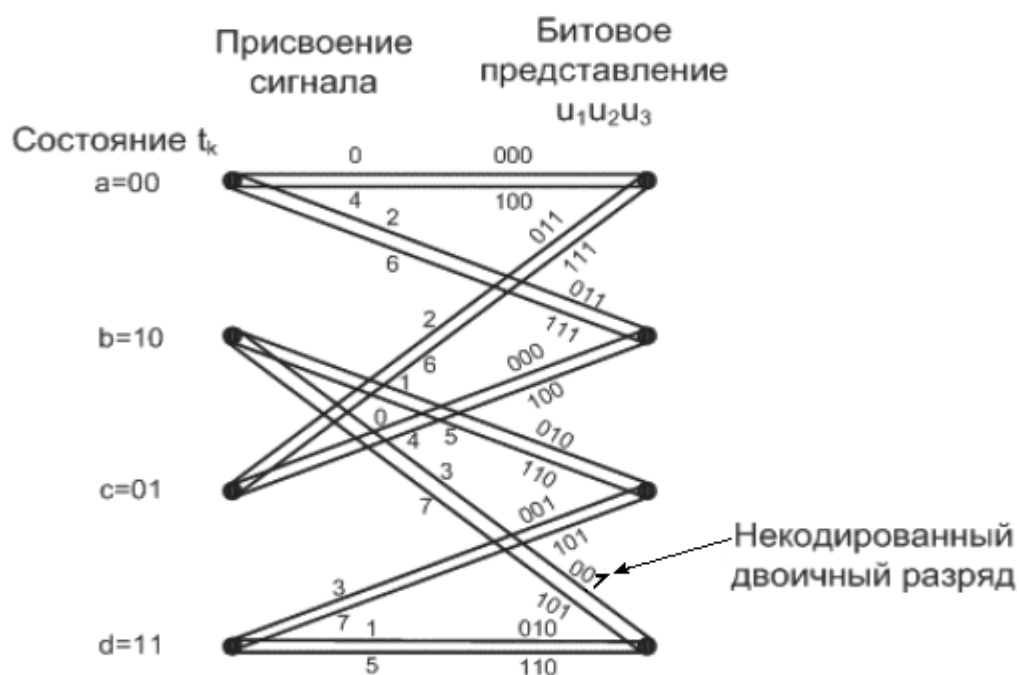


Рисунок 3.24 – Решетчатая диаграмма кодера СКК со скоростью кодирования 2/3

Коды состояний ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ) соответствуют содержимому крайних правых  $K-1=2$  разрядов регистра сдвига. Параллельные переходы на решетке обусловлены некодированными битами; некодированный бит представляется крайним левым битом каждого перехода решетки. В каждом состоянии кодера начинаются четыре перехода: два верхних перехода – от пары входных

информационных битов  $m_1, m_2$ , равных 00 и 10; два нижних перехода – от пары битов 01 и 11. Схема кодера определяет, какие кодовые слова появляются на переходах решетки, а разработчик системы только присваивает сигналы переходам.

### 3.9 Модуляция ТСПАМ

В системах передачи SHDSL (Рекомендация МСЭ-Т G.991.2, [31]) сверточное кодирование применяется в СКК совместно с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ). Этот вид сигнально-кодовых конструкций получил название ТСПАМ – Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation (амплитудно-импульсная модуляция с решетчатым кодированием). Для примера рассмотрим 8-уровневую ТСПАМ, использующую сверточный код со степенью кодирования  $2/3$ , генерируемый рассмотренным выше кодером (рис. 3.23).

Присвоение восьмиричных АИМ-сигналов переходам решетки осуществляется согласно правилам разделения Унгербоека (рис. 3.25).

Присвоение сигналов, а также кодовые слова, присвоенные схемой кодера, показаны на рис. 3.25. Наиболее несопоставимая пара сигналов (с расстоянием  $d_2 = 8$ ) была присвоена наиболее уязвимым (в плане появления ошибок) параллельным переходам. Кроме того, как следует из правил Унгербоека, сигналы со следующим наибольшим расстоянием ( $d_1 = 4$ ) были присвоены переходам, выходящим или входящим в одно и то же состояние.

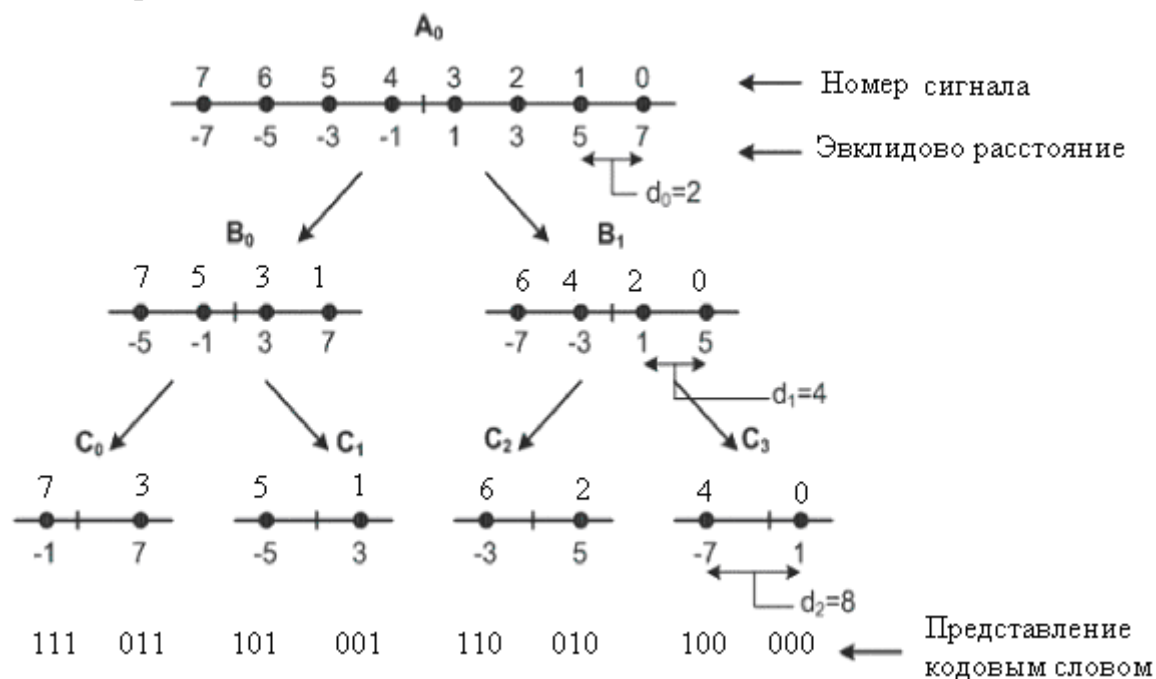


Рисунок 3.25 – Разделение Унгербоика сигналов АИМ-8

### 3.10 Циклическая избыточная проверка

Циклическая избыточная проверка (CRC-кодирование, проверка) используется для внутрисистемных целей системы передачи и в первую очередь для контроля качества образуемого канала связи, характеризующегося вероятностью ошибки при передаче информации. Для циклической проверки применяется линейное кодирование информационной последовательности. Последовательность передаваемых битов разбивается на кадры определенной длины, для каждого из которых вычисляются проверочные биты согласно следующему алгоритму:

$$\text{crc}(D) = M(D) D^n \bmod G(D), \quad (3.20)$$

где  $M(D) = m_0 D^{k-1} \oplus m_1 D^{k-2} \oplus \dots \oplus m_{k-3} D^2 \oplus m_{k-2} D \oplus m_{k-1}$  – полином сообщения;  $(m_0, m_1, \dots, m_{k-3}, m_{k-2}, m_{k-1})$  – коэффициенты полинома сообщения, представляющие собой передаваемые биты);

$G(D) = a_0 D^{n-1} \oplus a_1 D^{n-2} \oplus \dots \oplus a_{n-3} D^2 \oplus a_{n-2} D \oplus a_{n-1}$  – порождающий полином;  $(a_0, a_1, \dots, a_{n-3}, a_{n-2}, a_{n-1})$  – коэффициенты порождающего полинома, которые могут принимать значения 0 или 1);

$\text{crc}(D) = c_0 D^{n-1} \oplus c_1 D^{n-2} \oplus \dots \oplus c_{n-3} D^2 \oplus c_{n-2} D \oplus c_{n-1}$  – проверочный полином  $(c_0, c_1, \dots, c_{n-3}, c_{n-2}, c_{n-1})$  – коэффициенты проверочного полинома, которые могут принимать значения 0 или 1);

$\oplus$  – сложение по модулю два;

$D$  – оператор задержки.

Таким образом,  $\text{crc}(D)$  – это остаток от деления  $M(D) D^n$  на  $G(D)$ .

Для примера, порождающий полином, рекомендованный для CRC-проверки Рекомендацией МСЭ-Т G.991.2, представляется в виде:

$$G(D) = D^6 \oplus D \oplus 1.$$

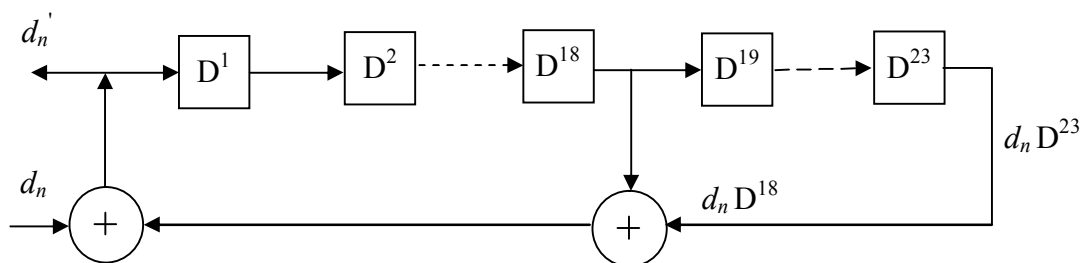
Проверочные биты  $\text{crc}(D)$  передаются на приемный конец. На приеме для принятой информационной последовательности также вычисляется  $\text{crc}(D)$ , который сравнивается с переданным. По числу битов, не совпадающих в сравниваемых CRC-последовательностях, судят о качестве канала связи.

### 3.11 Скремблирование сигнала

В большинстве систем передачи используется скремблирование передаваемого двоичного сигнала. Скремблирование – это преобразование сигнала без внесения избыточности, придающее ему свойства псевдослучайной последовательности. Скремблирование применяется в двух основных целях. Во-первых, оно обеспечивает независимость спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика от передаваемой информации, что является важным для предотвращения искажений сигналов из-за перегрузок канала связи и выполнения требований электромагнитной совместимости различных радиоэлектронных систем. Во-вторых, скремблирование исключает наличие в принимаемом сигнале длинных последовательностей единиц либо

нулей, что является условием для нормальной работы большинства алгоритмов адаптации систем автоматического регулирования приемника СП.

Скремблирование осуществляется в передатчике путем безызбыточного линейного кодирования передаваемой последовательности двоичных сигналов в результате прохождения её через устройство, называемое скремблером. Пример скремблера приведен на рис. 3.26.



**Рисунок 3.26** – Скремблер:  
 $\oplus$  – сложение по модулю 2; D – оператор задержки

Работа скремблера, приведенного на рис. 3.26, описывается алгоритмом:

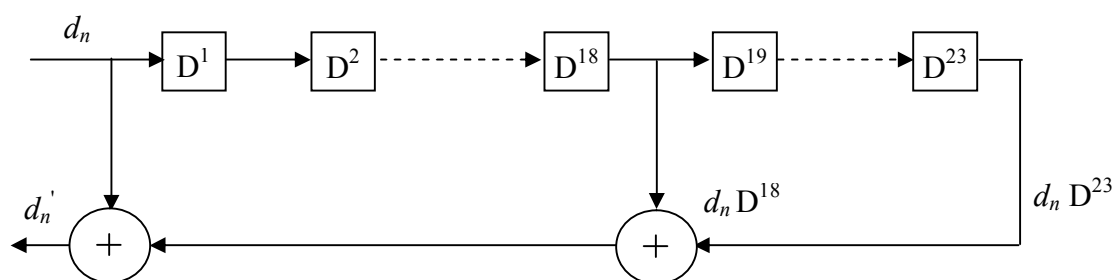
$$d'_n = d_n \oplus d'_{n-18} \oplus d'_{n-23}, \quad (3.21)$$

где  $d_n$  –  $n$ -ый бит на входе скремблера;

$d'_n$  –  $n$ -ый бит после операции скремблирования.

В приемнике осуществляется обратное преобразование принятого сигнала путем декодирования его с помощью дескремблера.

На рис. 3.27 изображен дескремблер. Приведенные в качестве примера скремблер и дескремблер широко используются в оборудовании связи, включая аппаратуру систем SHDSL и ADSL.



**Рисунок 3.27** – Дескремблер

Заметим, что скремблер является рекурсивным устройством, в то время как дескремблер – нерекурсивным (обратную связь не содержит). Приведенная пара скремблера и дескремблера характеризуется порождающим полиномом  $G(D)$ :

$$G(D) = D^{23} + D^{18} + 1. \quad (3.22)$$

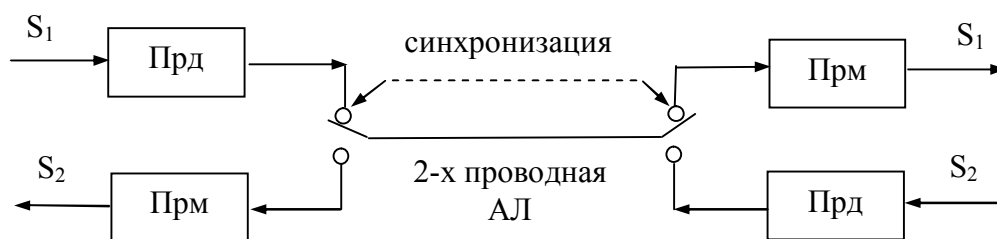
Коэффициенты полинома (3.22) указывают на расположение отводов, где осуществляется операция суммирования по модулю 2. Порождающий полином скремблера обычно выбирается таким образом, чтобы обеспечить на выходе псевдослучайную последовательность максимальной длины, когда на вход

скремблера поступают подряд идущие нули или единицы. Другими словами, последовательность максимальной длины характеризует периодичность генерируемой последовательности при неизменном сигнале на входе скремблера. Если коэффициенты полинома выбраны правильно, то обычно, чем длиннее скремблер, тем более длинные последовательности максимальной длины он производит. При этом длина последовательности максимальной длины скремблера равна  $2^n - 1$ , где  $n$  – порядок порождающего полинома скремблера.

Скремблер и дескремблер, изображенные на рис. 3.26 и 3.27, являются самосинхронизирующимися: начав работать в произвольном состоянии (т.е. при произвольных начальных сигналах в ячейках скремблера/дескремблера), по истечению определенного промежутка времени дескремблер начинает выдавать правильно переданные двоичные символы. Кроме того, ошибка бита в канале не будет приводить к значительному увеличению количества ошибок (размножению ошибок) на выходе дескремблера. Этим свойством дескремблер обладает благодаря отсутствию в нем обратной связи. Однако дескремблер увеличивает число ошибок. Одна однобитовая ошибка на входе дескремблера приводит к количеству однобитовых ошибок, равному числу отводов дескремблера. В показанном на рис. 3.27 примере одна однобитовая ошибка на входе производит три однобитовых ошибки на выходе дескремблера. Этот недостаток компенсируется теми преимуществами, которые обеспечивает скремблирование, и поэтому оно широко применяется в современной аппаратуре связи. В разных направлениях передачи используются разные порождающие полиномы скремблирования.

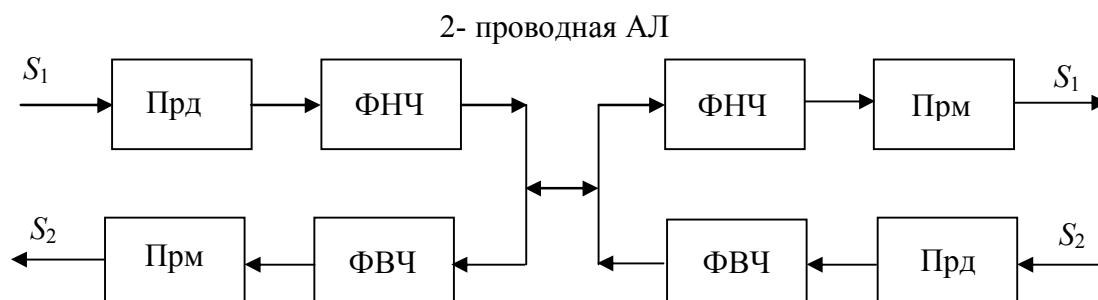
### **3.12 Методы разделения сигналов встречных направлений передачи**

Абонентские линии, как правило, строятся по двухпроводной схеме, и передача цифровых сигналов в обоих направлениях требует применения мер по их разделению. Для обеспечения дуплексной передачи по двухпроводным линиям применяется в основном частотное либо эхокомпенсационное разделение сигналов встречных направлений передачи. В некоторых моделях оборудования цифровых абонентских линий (ЦАЛ) на базовой скорости передачи (144 кбит/с) использовалось также временное разделение сигналов. При временном разделении (рис. 3.28) двухпроводная линия связи на каждом конце поочередно синхронно коммутируется либо на передачу сигналов  $S_1$  одного передатчика, либо на прием сигналов  $S_2$  противоположного передатчика. При этом скорость передачи сигналов по АЛ более чем в два раза выше требуемой для передачи сигналов одного направления. Это влечет за собой сокращение дальности связи, что ограничивает применение этого метода разделения невысокими скоростями передачи. Достоинством этого метода разделения является его простота и возможность реализации СП исключительно на цифровых элементах.



**Рисунок 3.28** – Временное разделение сигналов встречных направлений передачи:  
Прд – передатчик СП; Прм – приемник СП

Разделение сигналов  $S_1$  и  $S_2$  встречных направлений передачи по полосам частот, как правило, осуществляется парой (вилкой) фильтров, состоящей из низкочастотного и высокочастотного фильтров (ФНЧ и ФВЧ), включаемых в каждом из направлений передачи (рис. 3.29). К достоинствам этого метода разделения можно отнести отсутствие переходных помех на ближнем конце, которые будут определять дальность связи при низком переходном затухании между параллельно работающими СП. Однако расширение полосы частот, требуемой для передачи сигналов встречных направлений в разных полосах частот, нивелирует это достоинство.

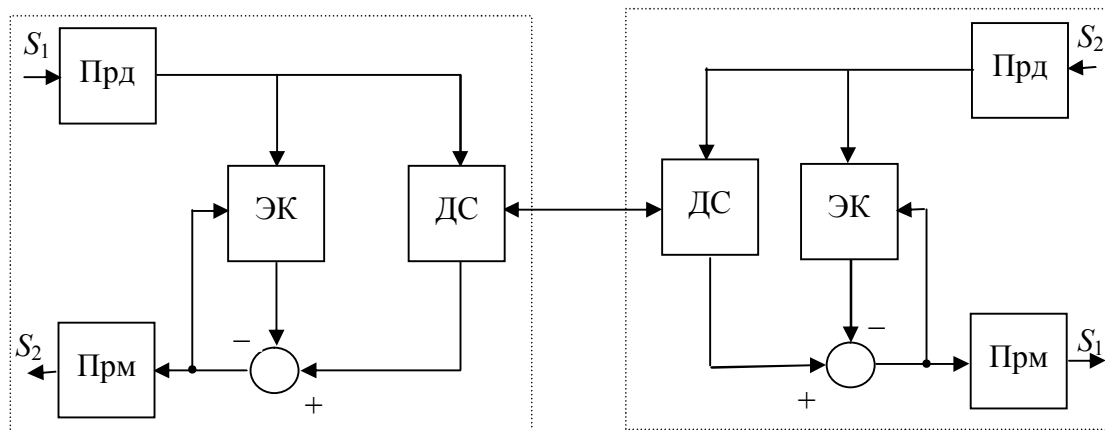


**Рисунок 3.29** – Разделение сигналов встречных направлений передачи по частоте:  
Прд – передатчик СП; Прм – приемник СП

В СП xDSL разделение сигналов встречных направлений передачи по полосам частот, занимаемым сигналами, нашло применение в приемо-передающем оборудовании типа ADSL, использующем асимметричную по скорости передачу в разных направлениях. Это обусловлено тем, что, во-первых, асимметрия по скорости передачи значительно снизила потери от расширения полосы частот, а во-вторых, ортогональность и частотная избирательность сигналов-переносчиков ADSL-оборудования позволяет при синхронизации передатчиков разных направлений передачи осуществить разделение их сигналов без применения фильтров либо при использовании достаточно простых фильтров.

Достоинством эхокомпенсационного метода разделения сигналов встречных направлений передачи является высокая частотная эффективность передачи информации, обусловленная тем, что сигналы встречных направлений передачи передаются одновременно во всей полосе частот, доступной (выделенной) для передачи. Для разделения таких сигналов применяются

дифференциальные системы (ДС). Однако принцип, положенный в основу функционирования традиционных (не адаптивных) ДС, не позволяет обеспечить требуемую степень разделения направлений передачи и приема. Для обеспечения требований по разделению направлений передачи применяется специальное устройство – эхокомпенсатор, включаемый параллельно ДС (рис. 3.30).



**Рисунок 3.30** – Эхокомпенсационный метод разделения сигналов:  
 ЭК – эхокомпенсатор; ДС – дифференциальная система; Прд – передатчик СП;  
 Прм – приемник СП

Эхокомпенсатор представляет собой цифровой адаптивный фильтр, на вход которого поступает сигнал передатчика, а выходной сигнал которого вычитается из входного сигнала приемника, представляющего собой смесь полезного сигнала (сигнала дальнего передатчика) и помехи (сигнала собственного передатчика). Эхокомпенсатор настраивается по критерию минимума энергии сигнала передатчика на входе собственного приемника. Этот метод разделения сигналов  $S_1$  и  $S_2$  встречных направлений передачи получил преимущественное применение в СП xDSL.

### **Вопросы для закрепления**

1. Дать характеристику системы ортогональных гармонических сигналов.
2. Сформулировать преимущества гармонических сигналов.
3. С какой целью создается защитный интервал в групповом сигнале?
4. Записать алгоритм модуляции-демодуляции группового сигнала.
5. Какими факторами определяется число ортогональных несущих?
6. Виды и природа интерференционных помех в СП xDSL.
7. Какие преимущества имеет каскадное кодирование?

## 4 СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИЯМ МСЭ-T G.992 – G.993

### 4.1 Общие характеристики СП

В основу функционирования СП в соответствии с рекомендациями G.992 – G.993 [32-38] положен метод передачи ортогональными гармоническими сигналами (ОГС). Отличительной чертой этого класса СП является то, что, учитывая характер трафика при работе в сети Интернет, скорости передачи в направлениях к абоненту и от абонента выбраны разными – асимметричными, хотя предусмотрен также вариант симметричных скоростей передачи. В силу этого цифровые абонентские линии, построенные с применением оборудования этого класса, получили названия асимметричных цифровых АЛ – ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line). Варианты регламентированных рекомендациями МСЭ-T СП ADSL принципиально отличаются друг от друга лишь числом ортогональных несущих и соответственно скоростями передачи. Так, например, СП ADSL по Рекомендации G.992.1 МСЭ-T может максимально использовать 255 ортогональных несущих, а СП VDSL по Рекомендации G.993.1 использует уже 2782 ортогональных несущих. Другие отличия носят непринципиальный, инженерный характер. В этой связи в дальнейшем будут рассмотрены подробно лишь характеристики и алгоритмы функционирования СП ADSL, соответствующие Рекомендации G.992.1 МСЭ-T, для остальных СП будут указаны по мере необходимости лишь отличия.

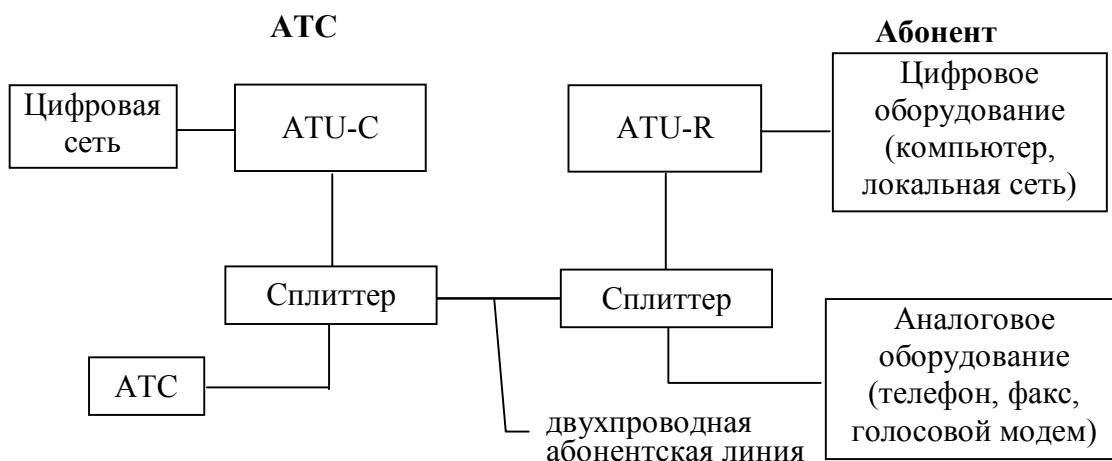
Важным достоинством СП ADSL является возможность совместной работы по одной АЛ с аналоговым телефоном традиционной телефонной сети. Для развязки сигналов и сохранения телефонной связи на станционной и абонентской сторонах СП ADSL содержат разделительные устройства – сплиттеры (рис. 4.1).

Разделение сигналов встречных направлений передачи в СП ADSL осуществляется либо по частоте с помощью фильтров или за счет частотной избирательности сигналов-переносчиков, либо эхокомпенсационным способом с помощью эхокомпенсатора, включаемого между выходом передатчика и входом приемника.

Спектр линейного сигнала ADSL для варианта частотного разделения сигналов встречных направлений передачи показан на рис. 4.2. Снизу спектр сигнала ограничен частотой порядка 30 кГц (точнее – 25,875 кГц согласно Рекомендации G.992.1 Annex A), что позволяет сохранить телефонный канал. Есть также вариант спектра ADSL, начинающегося с частоты 138 кГц, что обеспечивает совместимость с сигналами ISDN при работе по одной линии (G.992.1 Annex B). Существуют и варианты «полностью цифрового режима» ADSL2 и ADSL2+, при котором допускается использование полосы частот, начиная с 3 кГц (G.992.3 Annex I и Annex J, G.992.5 Annex I и Annex J). Подробно технические характеристики различных вариантов систем ADSL и VDSL, регламентированные Приложениями (Annex) к рекомендациям G.992 и



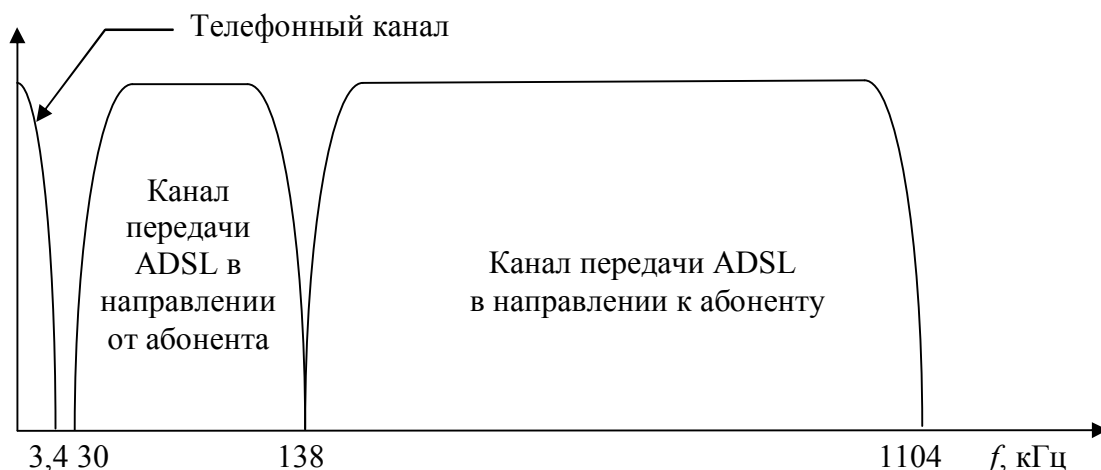
G.993 МСЭ-Т, приведенные в разделе 5. Гибкость в формировании спектра линейного сигнала является одним из достоинств технологии ADSL.



ATU-C – ADSL Transceiver Unit-Central Office End (приемопередатчик ADSL на станционной стороне)

ATU-R – ADSL Transceiver Unit-Remote Terminal End (приемопередатчик ADSL на стороне абонента)

**Рисунок 4.1** – Сопряжение СП ADSL с телефонным оборудованием, использующим полосу частот 0,3 кГц – 3,4 кГц



**Рисунок 4.2** – Спектр линейного сигнала ADSL (частотное разделение сигналов встречных направлений передачи)

## 4.2 Структура спектра сигнала

Рекомендацией G.992.1 МСЭ-Т определены следующие основные параметры группового сигнала:

- разнос по частоте между соседними несущими  $\Delta F = 4,3125$  кГц,
- максимальное число несущих (включая неиспользуемые) составляет:
  - в нисходящем направлении (downstream)  $N = 256$ ,
  - в восходящем направлении (upstream)  $N = 32$ ,
- используемые несущие имеют номера  $l_1, \dots, l_2$ ,
- несущая  $l = 64$  (соответствующая частоте  $l\Delta F = 276$  кГц) предназначена для передачи пилот-сигнала в нисходящем направлении.

В соответствии с алгоритмами модуляции сигналов в СП ADSL, полученные в результате кодирования созвездий в станционном передатчике (ATU-C) координаты сигнальных точек  $a_l$  и  $b_l$ ,  $l=l_1, l_1+1, l_1+2, \dots, l_2-1, l_2$ , образуют комплексный вектор  $\mathbf{R}_l$  согласно следующему правилу:

$$\begin{aligned} R_l &= 0, \quad l = 0, 1, 2, \dots, l_1 - 1, l = l_2 + 1, \dots, 256; \\ R_l &= a_l + ib_l, \quad l = l_1, l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2 - 1, l_2; \\ R_{64} &= a_{64} + ib_{64}; \\ R_l &= R_{512-l}^*, \quad l = 256, 257, \dots, 511, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где  $a_{64}, b_{64}$  – немодулируемые амплитуды синфазной и квадратурной составляющих пилот-сигнала, а знак (\*) означает операцию комплексного сопряжения.

В результате выполнения обратного дискретного преобразования Фурье (ОДПФ) вектора  $\mathbf{R}_l$

$$s_{sp}(n) = \sum_{l=0}^{511} R_l e^{\frac{i2\pi ln}{512}}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, 511, \quad (4.2)$$

формируются 512 отсчетов группового сигнала, которые дополняются отсчетами префикса (защитного интервала), совпадающими с 32 отсчетами с номерами  $n = 480 \dots 511$ , полученными в результате ОДПФ-преобразования, что позволяет сформировать 544 отсчета группового сигнала в нисходящем направлении на каждом тактовом интервале.

В абонентском передатчике (ATU-R) вектор  $\mathbf{R}_l$ , соответствующий восходящему потоку, формируется следующим образом:

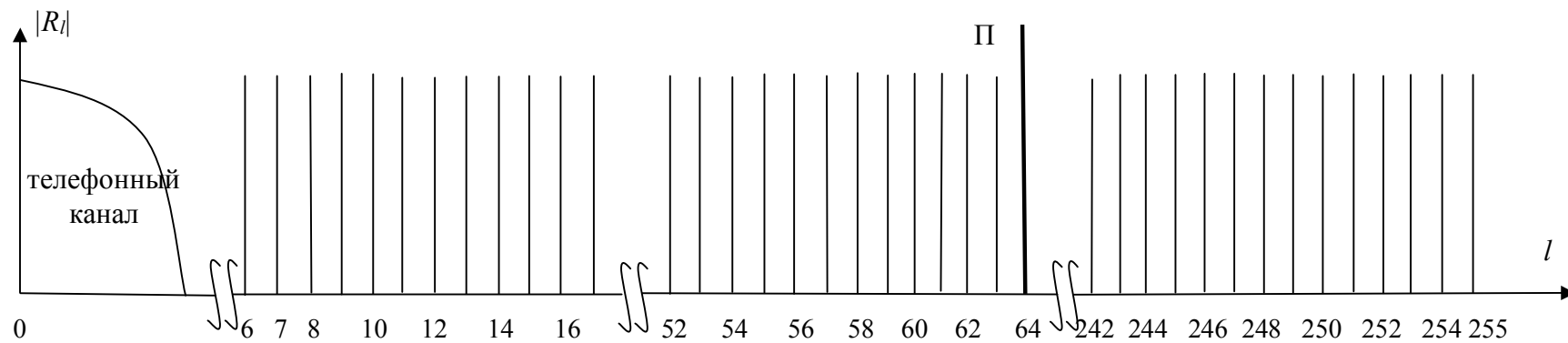
$$\begin{aligned} R_l &= 0, \quad l = 0, 1, 2, \dots, l_1 - 1, l = l_2 + 1, \dots, 32, \\ R_l &= a_l + ib_l, \quad l = l_1, l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2 - 1, l_2, \\ R_l &= R_{64-l}^*, \quad l = 32, 33, \dots, 63. \end{aligned}$$

В результате осуществления ОДПФ-преобразования вектора  $\mathbf{R}_l$

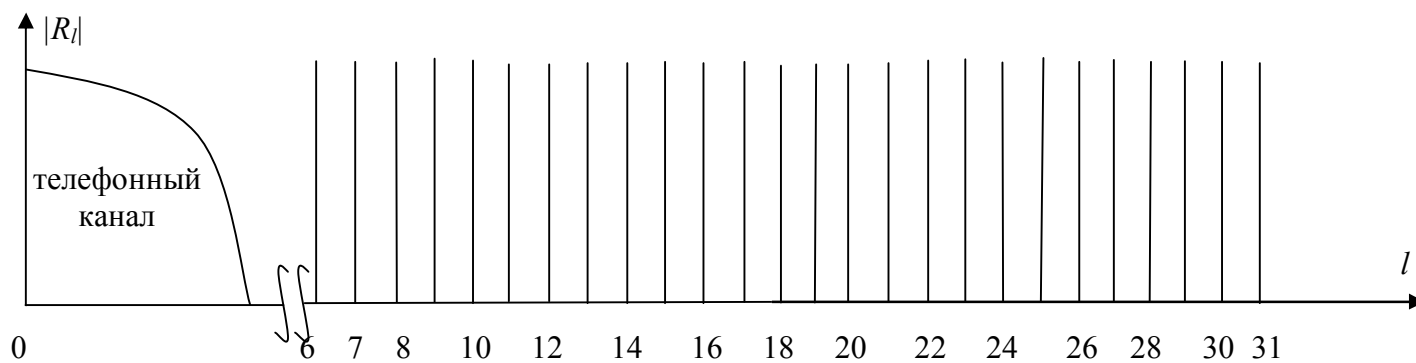
$$s_{sp}(n) = \sum_{l=0}^{63} R_l e^{\frac{i2\pi ln}{64}}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, 63,$$

формируются 64 отсчета группового сигнала, которые дополняются отсчетами префикса (защитного интервала), совпадающими с четырьмя отсчетами с номерами  $n = 60 \dots 63$ , полученными в результате ОДПФ-преобразования, что позволяет сформировать 68 отсчетов группового сигнала в восходящем направлении на каждом тактовом интервале.

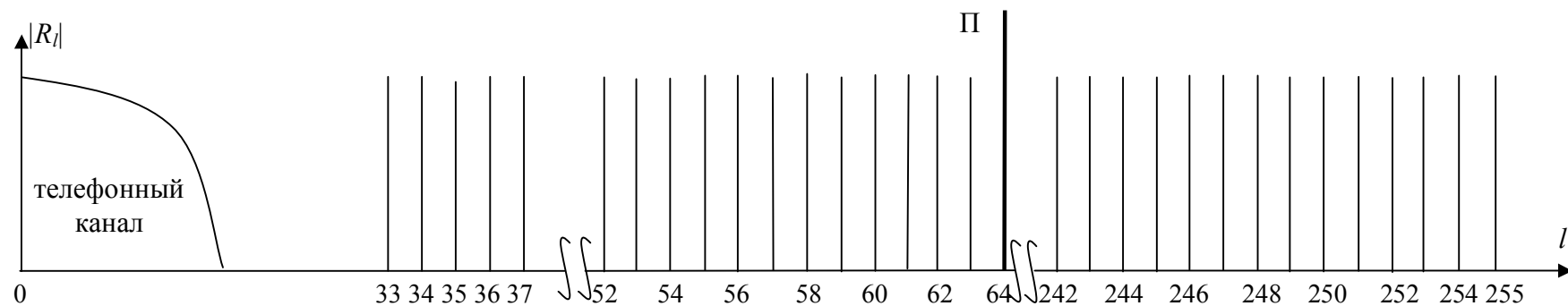
Дискретные спектры, формируемые передатчиком ATU-C, при эхокомпенсационном и фильтровом разделении сигналов приведены на рис. 4.3 и 4.5 соответственно. На рис. 4.6 приведен дискретный сигнал ATU-C. Дискретный спектр и групповой сигнал, формируемые передатчиком ATU-R, приведены на рис. 4.4 и 4.7 соответственно. Штриховкой на рис. 4.6 и 4.7 отмечены совпадающие (вследствие добавления защитного интервала) области группового сигнала на тактовом интервале.



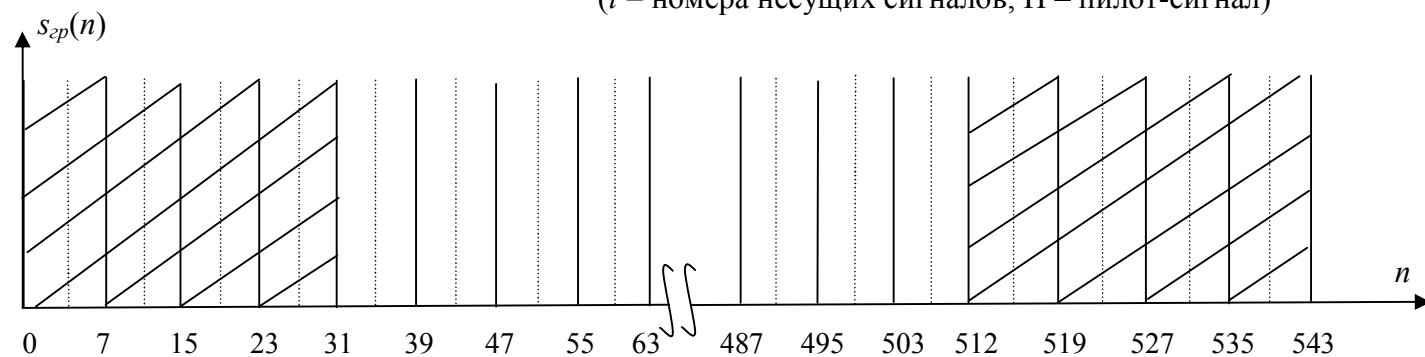
**Рисунок 4.3** – Дискретный спектр ADSL (ATU-C) при эхокомпенсационном разделении сигналов встречных направлений передачи ( $l$  – номера несущих сигналов, П – пилот-сигнал)



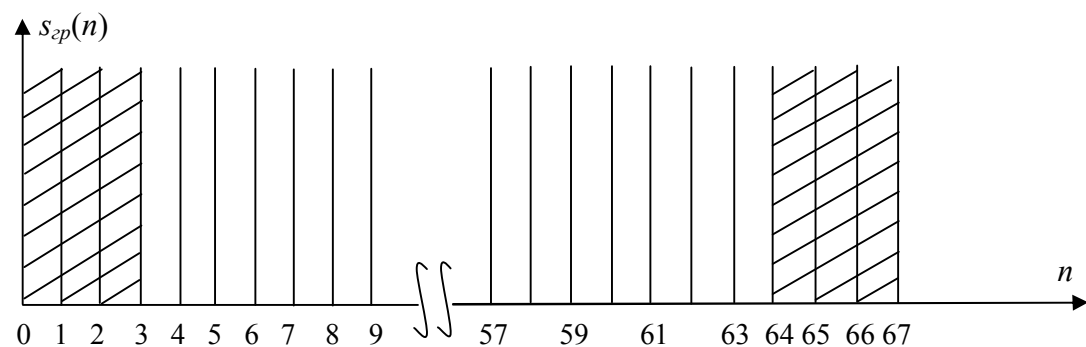
**Рисунок 4.4** – Дискретный спектр ADSL (ATU-R) ( $l$  – номера несущих сигналов)



**Рисунок 4.5** – Дискретный спектр ADSL (ATU-C) при фильтровом разделении сигналов встречных направлений передачи ( $l$  – номера несущих сигналов, П – пилот-сигнал)



**Рисунок 4.6** – Дискретный сигнал ADSL (ATU-C) ( $n$  – номер отсчета, заштрихованы совпадающие области группового сигнала)



**Рисунок 4.7** – Дискретный сигнал ADSL (ATU-R) ( $n$  – номер отсчета) (заштрихованы совпадающие области группового сигнала)

### 4.3 Структурная схема передатчика

Структурная схема передатчика ADSL станционной стороны (ATU-C) в соответствии с Рекомендацией G.992.1 МСЭ-Т приведена на рис.4.8.

Введены следующие определения. Физический канал ADSL называется *физическим каналом*, а все информационные и служебные каналы называются *логическими* или *транзитными каналами*. Все виды информации, кроме полезной информации, называются *служебной информацией*.

СП ADSL позволяет одновременно передавать сигналы более одного информационного канала. Для передачи служебной информации используются встроенный рабочий канал – EOC (*Embedded Operations Channel*), служебный канал управления – AOC (*ADSL Overhead Control Channel*), а также служебные биты. Комбинирование и разделение логических каналов в передатчике и приемнике осуществляется с помощью кадровой структуры, которая изложена ниже. Таким образом, в физическом канале ADSL создается ряд *логических каналов*.

В СП ADSL в нисходящем направлении (в направлении от станции к абоненту) может быть организовано до четырех симплексных логических каналов и до трех полнодуплексных логических каналов, которые мультиплексируются в единый физический канал блоком «Мультиплексор» (см. рис. 4.8). Симплексные каналы обозначены AS0, AS1, AS2 и AS3, а дуплексные – LS0, LS1 и LS2. Дуплексные каналы могут иметь различные скорости передачи в различных направлениях, включая и нулевую скорость в одном или обоих направлениях. Когда скорость дуплексного канала равна нулю в одном направлении, он превращается в симплексный канал в направлении с ненулевой скоростью. Допустимые скорости различных транзитных каналов приведены в табл. 4.1. Для всех логических каналов реальные скорости передачи кратны 32 кбит/с. Во многих реализациях в нисходящем направлении используется только один симплексный канал, а в восходящем направлении дуплексный канал используется в симплексном режиме. Обычно в этих случаях используются каналы AS0 и LS0.

Возможность использования различных логических каналов позволяет ADSL быть достаточно гибкой для поддержки различных приложений. Например, одним из применений ADSL есть видео по запросу по телефонной линии. В этом случае для передачи цифровой видеозаписи и аудиозаписи может использоваться, например, нисходящий симплексный канал AS0, тогда как для передачи и приема управляющей информации (команды паузы или перемотки) может использоваться, например, дуплексный канал LS0.

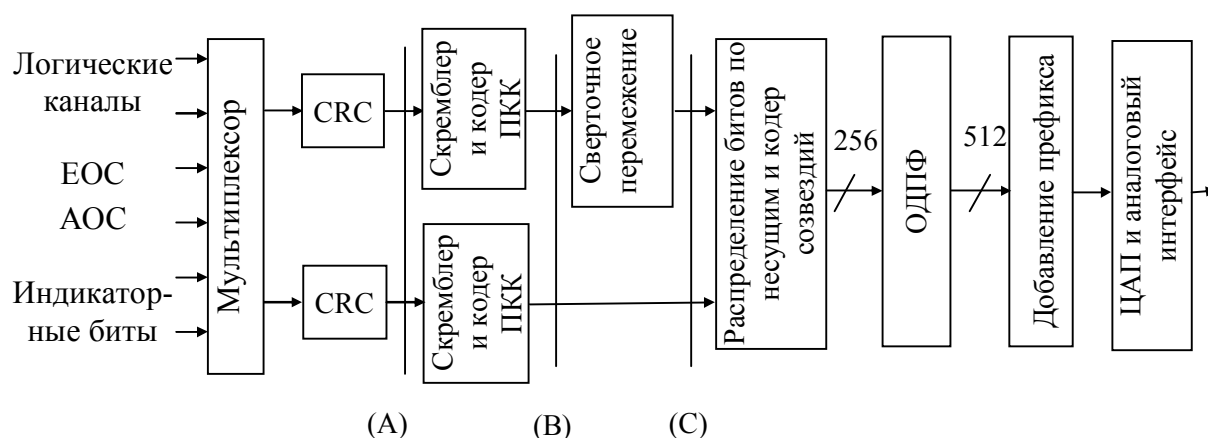
**Таблица 4.1 – Логические каналы ADSL**

Канал	Тип	Допустимые скорости	Комментарии
AS0	Нисходящий симплексный	0 – 6,144 Мбит/с	Чаще всего используется как единственный нисходящий канал
AS1	Нисходящий симплексный	0 – 4,608 Мбит/с	
AS2	Нисходящий симплексный	0 – 3,072 Мбит/с	
AS3	Нисходящий симплексный	0 – 1,536 Мбит/с	
LS0	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении. Чаще всего используется как восходящий симплексный канал
LS1	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении
LS2	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении

Характерной особенностью передатчика является наличие в нем двух трактов – *быстрого* и *с перемежением*. Эти названия обязаны своим происхождением тому факту, что данные тракта с перемежением (называемые впоследствии *данными с перемежением*) с целью декорреляции потока ошибок (приводящей к повышению помехозащищенности) подвергаются операции сверточного перемежения, которая вносит в эти данные задержку. Данные же быстрого тракта (*быстрые данные*) не содержат блока перемежения и поэтому проходят через этот тракт быстрее. Такое решение связано с тем, что используемый в ADSL метод параллельной передачи ОГС вносит в передаваемые данные значительные задержки, определяемые длительностью тактового интервала. Но для некоторых видов передаваемой информации, например, телефонных сообщений, задержки строго нормируются и большие задержки недопустимы. Для того чтобы не вносить в такие сигналы дополнительную задержку, вызываемую перемежением, эти данные передают по отдельному (быстрому) тракту, в котором отсутствует перемежение.

Следует отметить, что любой логический канал назначается или быстрому, или тракту с перемежением, но никак не обоим. Тем не менее, оба тракта могут быть активными одновременно (если каждому будет назначен один или более логических каналов). Однако во многих реализациях используется только один тракт.

Функционально передатчик стационарного модема ATU-C и передатчик абонентского модема ATU-R реализуются по одним и тем же алгоритмам. Однако между ними существуют и незначительные различия, связанные с отличием скоростей передачи «вниз» и «вверх». Прежде всего, ATU-C и ATU-R отличаются числом используемых несущих сигналов. Остальные различия между ATU-C и ATU-R вытекают из этого и будут рассмотрены по мере описания передатчика ADSL.



**Рисунок 4.8** – Структурная схема передатчика ADSL (ATU-C)

Рассмотрим назначение блоков передатчика. Блок мультиплексирования объединяет до четырех симплексных (AS0 – AS3) и до трех дуплексных (LS0 – LS2) информационных (логических) сигналов, синхронизированных с тактовой частотой 4 кГц, с сигналами управления, администрирования и эксплуатации в два отдельных потока данных: быстрый и с перемежением. Каждый из потоков подвергается независимым CRC-кодированию, скремблированию и кодированию кодом, исправляющим ошибки (прямое корректирующее кодирование – ПКК), – кодом Рид-Соломона. Затем данные тракта с перемежением подвергаются операции свертчного перемежения. Сформированные потоки двоичных символов распределяются по каналам (несущим) передатчика в соответствии с оптимальным распределением мощности передатчика и числа битов передаваемой информации по несущим. Это распределение определяется в приемнике модема ATU-R и передается на противоположную сторону. В соответствии с этим распределением выбираются вид сигнального созвездия (при этом используются сигнально-кодовые конструкции) и коэффициент усиления в каждом канале. В результате формируется комплексный вектор (4.1), который преобразовывается по алгоритму ОДПФ (4.2). Цифровой сигнал, полученный в результате ОДПФ-преобразования, дополняется сигналами префикса, преобразуется в аналоговый сигнал и передается по абонентской линии.

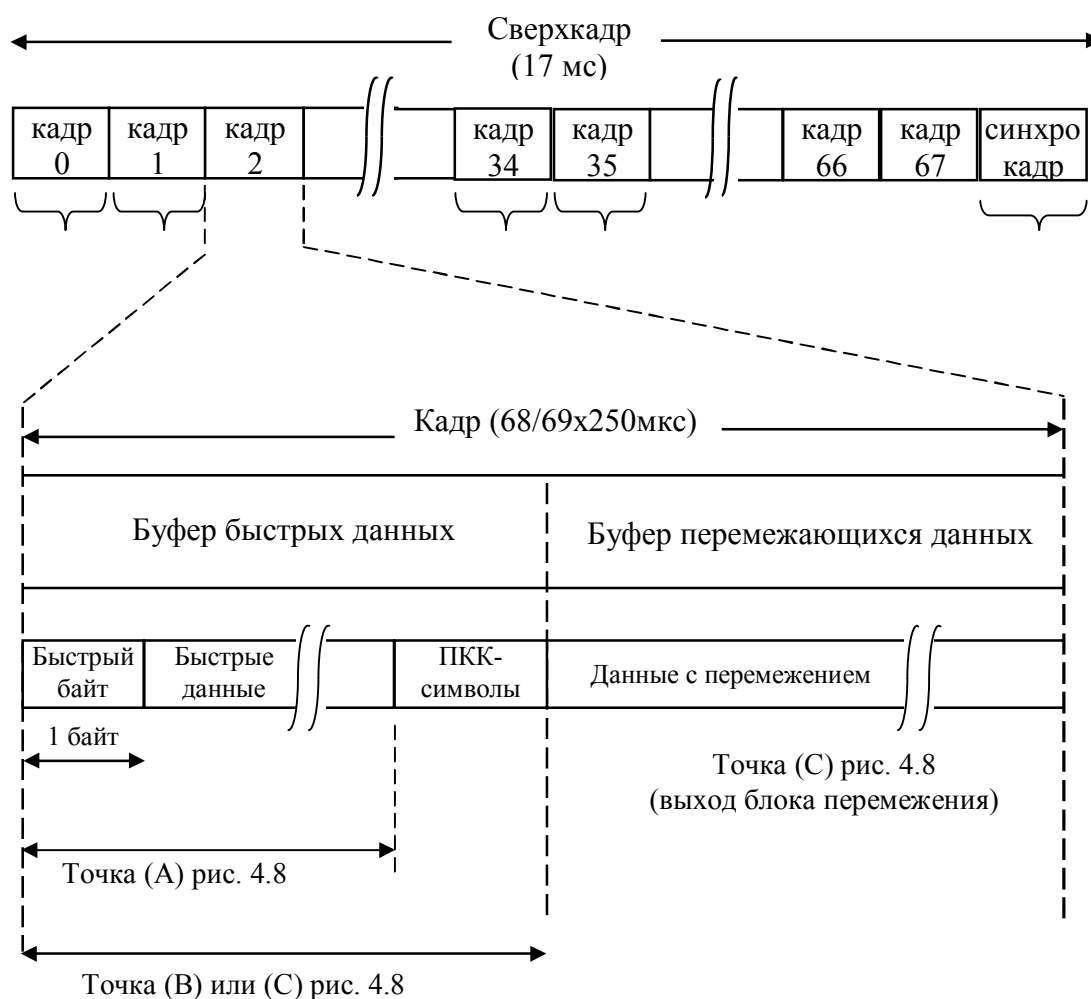
#### 4.4 Структура сигнала ADSL

*Кадровая и сверхкадровая структура* сигнала ADSL позволяет объединять (мультиплексировать) и разделять логические каналы при передаче их по физическому каналу ADSL.

Самым крупным элементом сигнала ADSL является сверхкадр. Сверхкадр имеет длительность 17 мс и состоит из 68 информационных кадров, нумеруемых от 0 до 67, и одного кадра (символа) синхронизации. Кадр синхронизации имеет ту же самую длительность, что и кадр данных, и он может рассматриваться как кадр, не переносящий пользовательских данных.

Каждый кадр ADSL, включая и кадр синхронизации, соответствует одному ADSL-символу. Частота следования кадров составляет  $\frac{69 \text{ кадров}}{17 \text{ мс}} \approx 4,0588 \text{ кГц}$ . Так как *информационных* кадров за 17 мс передается всего 68 (символ синхронизации является служебным и здесь не учитывается), то частота передачи информационных кадров составляет  $\frac{68 \text{ кадров данных}}{17 \text{ мс}} = 4 \text{ кГц}$ .

Структура кадра и сверхкадра передатчика ATU-C приведена на рис. 4.9. Все информационные кадры имеют аналогичную структуру. Каждый кадр разбивается на две части: полукадр, содержащий данные быстрого тракта, и полукадр, содержащий данные тракта с перемежением.



**Рисунок 4.9** – Структура сверхкадра ADSL (передатчик ATU-C)

Полукадры, в свою очередь, разбиваются на байты. Каждый полукадр содержит точно определенное количество байтов данных, относящихся к каждому из активных логических каналов. В каждом полукадре данных содержатся также и байты служебной информации; однако эти служебные байты различны для разных номеров кадров. На рис. 4.10 изображена общая



структура информационного кадра ADSL, соответствующая точке (А) рис. 4.8 (на выходе блока CRC или на входе скремблера).

Служебная информация быстрого тракта	Данные быстрого тракта	Служебная информация быстрого тракта	Служебная информация тракта с перемежением	Данные тракта с перемежением	Служебная информация тракта с перемежением
--------------------------------------	------------------------	--------------------------------------	--	------------------------------	--

**Рисунок 4.10** – Структура кадра, включающая компоненты быстрого тракта и тракта с перемежением (соответствует точке (А) на рис. 4.8)

На рис. 4.11 изображена более детальная структура полукадра восходящего и нисходящего направлений передачи быстрого тракта на выходе блока CRC.

Быстрый байт	Байты AS0	Байты AS1	Байты AS2	Байты AS3	Байты LS0	Байты LS1	Байты LS2	Байт AEX	Байт LEX
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------

а)

Быстрый байт	Байты LS0	Байты LS1	Байты LS2	Байт LEX
--------------	-----------	-----------	-----------	----------

б)

**Рисунок 4.11** – Детальная структура быстрой части кадра ADSL для нисходящего направления (а) и восходящего направления (б), соответствующая точке (А) на рис. 4.8

Из рис. 4.11 видно, что каждый логический канал наделяется определенным количеством байтов. Кадр данных, использующийся в нисходящем направлении, имеет места для всех семи транзитных каналов, а кадр восходящего направления может переносить только байты LS-каналов, потому что в восходящем направлении AS-каналы не передаются. Если некоторый логический канал не используется в быстром тракте, то количество соответствующих этому каналу байтов равно нулю (поэтому он не будет занимать место в этом тракте).

Из-за того, что распределение информации по кадрам (а информационные кадры следуют друг за другом с частотой 4 кГц) происходит байтами, а не частями байтов, скорость передачи данных по информационному каналу кратна величине 4 кГц × 8 бит = 32 кбит/с. Фактически скорость передачи данных по информационному каналу можно определить из следующего выражения:

$$R_{channel} = \text{количество байтов на кадр} \times 8 \frac{\text{бит}}{\text{байт}} \times 4000 \frac{\text{кадров}}{\text{с}}.$$

В кадре данных быстрого буфера присутствует и несколько служебных байтов: *быстрый байт*, AEX-байт и LEX-байт в нисходящем направлении, и LEX-байт в восходящем направлении.

Первый байт быстрой части кадра называется «быстрым байтом» и служит для передачи кодовой, служебной и синхронизирующей информации. Быстрый байт – это сокращение для *байта синхронизации быстрого тракта*.

Быстрый байт всегда присутствует, даже если быстрый тракт не используется ни одним транзитным каналом. Он выполняет четыре следующие функции в зависимости от номера кадра (от 0 до 67):

- перенос CRC-информации, относящейся к предыдущему сверхкадру быстрого тракта;
- передача индикаторных битов;
- перенос вложенного (внутреннего) рабочего канала – EOC (*embedded operations channel*);
- перенос информации управления синхронизацией для того, чтобы управлять вложением и извлечением байтов с целью синхронизации (выравнивания) скорости логического канала с пользовательской скоростью (скоростью, которую необходимо обеспечить).

Назначение канала EOC и индикаторных битов остается за пределами рассмотрения данного пособия.

Байты AEX и LEX используются для того, чтобы включать дополнительный байт в AS- и LS-канал с целью выравнивания скорости логического канала с пользовательской скоростью (скоростью, которую необходимо обеспечить).

На рис. 4.12, *а* и 4.12, *б* изображена структура быстрой части кадра ADSL на выходе блока скремблирования и кодирования (см. рис. 4.8) для восходящего и нисходящего направлений соответственно. Отличием структуры сигнала быстрой части в этой точке от структуры на выходе блока CRC является скремблирование данных и наличие добавленных кодером байтов ПКК.

Быстрый байт	Байты LS0	Байты LS1	Байты LS2	LEX-байт	Проверочные байты кода Рида-Соломона
--------------	-----------	-----------	-----------	----------	--------------------------------------

*а)*

Быстрый байт	Байты AS0	Байты AS1	Байты AS2	Байты AS3	Байты LS0	Байты LS1	Байты LS2	Байт AEX	Байт LEX	Проверочные байты кода Рида-Соломона
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	--------------------------------------

*б)*

**Рисунок 4.12** – Структура быстрой части кадра ADSL после блока ПКК (точка (В) на рис. 4.8): *а)* – для восходящего направления, *б)* – для нисходящего направления

На рис. 4.13, *а* и 4.13, *б* изображена структура полукадра с перемежением, соответствующая выходу блока CRC (см. рис. 4.8).

Первый байт полукадра с перемежением называется *байтом синхронизации* и выполняет следующие основные функции (некоторые из этих функций аналогичны функциям быстрого байта):

Байт синхронизации	Байты LS0	Байты LS1	Байты LS2	Байт LEX
-----------------------	--------------	--------------	--------------	-------------

а)

Байт синхро- низации	Байты AS0	Байты AS1	Байты AS2	Байты AS3	Байты LS0	Байты LS1	Байты LS2	Байт AEX	Байт LEX
----------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------	-------------

б)

**Рисунок 4.13** – Структура полукадра с перемежением на выходе блока CRC (точка А на рис. 4.8): а) – для восходящего направления; б) – для нисходящего направления

- передача CRC-информации, относящейся к предыдущему сверхкадру тракта с перемежением;
- перенос информации управления синхронизацией для добавления и удаления байтов из транзитных каналов тракта с перемежением;
- перенос АОС-канала, когда тракт с перемежением не используется ни одним из транзитных каналов.

Назначение канала АОС остается за пределами рассмотрения данного пособия.

В тракте с перемежением кодовое слово ПКК, в отличие от кодового слова в быстром тракте, может быть составлено из нескольких кадров. Реальное количество кадров  $S$  в кодовом слове ПКК тракта с перемежением устанавливается в процессе инициализации. Если каждый из этих кадров содержит  $K$  полезных байтов, то кодер Рида – Соломона добавляет к  $S \cdot K$  полезных данных  $R$  проверочных байтов, формируя кодовое слово длиной  $S \cdot K + R$  байтов. После равномерного распределения проверочных байтов по  $S$  кадрам на выходе блока ПКК каждый кадр тракта с перемежением будет содержать  $(S \cdot K + R)/S$  байтов. После кодирования Рида – Соломона кодовые слова ПКК подвергаются сверточному перемежению, в результате которого кадры, поступающие на вход кодера созвездий (точка (С) на рис. 4.8), состоят из байтов, принадлежащих нескольким кодовым словам ПКК.

## 4.5 Алгоритмы преобразования сигналов в передатчике

### 4.5.1 Циклическая избыточная проверка. Скремблирование сигнала

Алгоритмы циклической избыточной проверки скремблирования сигнала в системе передачи ADSL, согласно Рекомендации G-992.1, описаны в разделах 3.10 и 3.11.

### 4.5.2 Предварительная коррекция ошибок и перемежение

После скремблирования данные обоих трактов (быстрого и с перемежением) независимо подвергаются предварительному корректирующему кодированию (ПКК). Оба тракта используют код Рида–Соломона в поле Галуа GF(256). Количество  $k$  проверочных байтов и количество  $n$  полезных байтов,

которые составляют кодовое слово, определяются в процессе инициализации ADSL-соединения. В быстром тракте каждому кадру соответствует одно кодовое слово. В тракте с перемежением кодовое слово может состоять из целого числа  $S$  кадров, где  $S$  – число, равное степени двух и меньшее или равное 16 ( $S = 1, 2, 4, 8$  или 16). Для обоих трактов количество проверочных байтов может быть любым четным числом между 0 и 16 включительно. Отношение количества проверочных байтов к количеству полезных байтов должно быть близко к нулю. Такое отношение дает приемлемый выигрыш кодирования без значительной избыточности.

Для формирования кодового слова Рида – Соломона размером  $n = k + r$  байтов к  $k$  информационным байтам  $m_0, m_1, \dots, m_{k-2}, m_{k-1}$  должны добавляться  $r$  проверочных избыточных байтов  $c_0, c_1, \dots, c_{r-2}, c_{r-1}$ . Проверочные байты вычисляются из информационного байта следующим образом:

$$C(D) = M(D) D^r \bmod G(D),$$

где  $M(D) = m_0 D^{k-1} \oplus m_1 D^{k-2} \oplus \dots \oplus m_{k-2} D \oplus m_{k-1}$  – многочлен сообщения;

$C(D) = c_0 D^{r-1} \oplus c_1 D^{r-2} \oplus \dots \oplus c_{r-2} D \oplus c_{r-1}$  – проверочный многочлен;

$G(D) = \prod (D \oplus \alpha^i)$  – образующий многочлен кода Рида–Соломона, где  $\prod$  обозначает умножение, а  $i$  изменяется от 0 до  $r-1$ .

Арифметика выполняется в поле Галуа GF(256), где  $\alpha$  – примитивный элемент, который удовлетворяет примитивному бинарному полиному  $x^8 \oplus x^4 \oplus x^3 \oplus x^2 \oplus 1$  (является его корнем). Байт данных ( $d_7, d_6, \dots, d_1, d_0$ ) идентичен элементу поля Галуа  $d_7 \alpha^7 \oplus d_6 \alpha^6 \oplus \dots \oplus d_1 \alpha \oplus d_0$ .

Число проверочных байтов  $r$  и размер кодового слова  $n$  могут изменяться.

Кодированный сигнал в тракте с перемежением подвергается операции сверточного перемежения. Глубина перемежения варьируется, но всегда должна быть кратна 2. Сверточное перемежение осуществляется по следующему правилу.

*Каждый байт кодовой конструкции Рида–Соломона  $B_0, B_1, \dots, B_{N-1}$  задерживается на величину, которая пропорциональна индексу байта. Иначе говоря, байт  $B_i$  (с индексом  $i$ ) задерживается на  $(D-1)Ci$  байтов, где  $D$  – глубина перемежения.*

Пример для  $n = 5, d = 2$  показан в табл. 4.2, где  $B_i^j$  соответствует  $i$ -му байту  $j$ -го кодового слова.

**Таблица 4.2** –Сверточное перемежение для  $n = 5, d = 2$

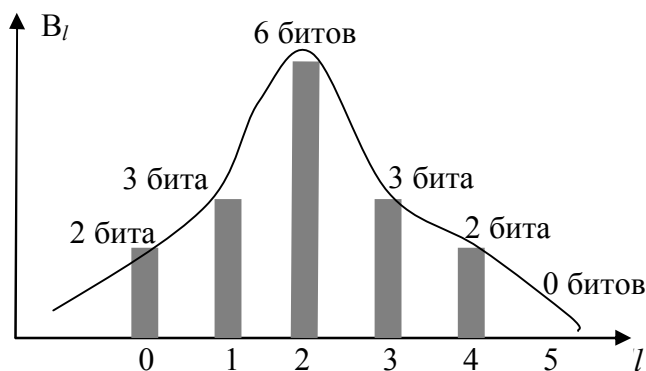
Вход блока перемежения	$B_0^j$	$B_1^j$	$B_2^j$	$B_3^j$	$B_4^j$	$B_0^{j+1}$	$B_1^{j+1}$	$B_2^{j+1}$	$B_3^{j+1}$	$B_4^{j+1}$
Выход блока перемежения	$B_0^j$	$B_3^{j-1}$	$B_1^j$	$B_4^{j-1}$	$B_2^j$	$B_0^{j+1}$	$B_3^j$	$B_1^{j+1}$	$B_4^j$	$B_2^{j+1}$

В соответствии с рассмотренным правилом и выбранной глубиной перемежения (кратной 2), в случае нечетного  $n$  байты на выходе буфера с перемежением всегда занимают «свой» временной интервал. Нетрудно проверить, что если  $n$  является четным, то такое перемежение осуществить

невозможно: байты с предыдущего кодового слова «накладываются» на байты следующего кодового слова. Например, при  $d = 2$  и  $n = 4$  байт  $B_2^J$  должен был бы занять место байта  $B_0^{J+1}$ . Выходом из этого положения является добавление холостого байта в начало кодового слова на входе блока перемежения, благодаря чему длина кодового слова становится нечетной. Получившееся кодовое слово затем подвергается сверточному перемежению, а холостой байт изымается на выходе блока перемежения.

#### 4.5.3 Распределение битов по несущим

Перед поступлением на блок модуляции подлежащие передаче данные накапливаются в буферах данных быстрого тракта и тракта с перемежением. Перед модуляцией несущих определяется количество битов данных, которое должно передаваться на каждой несущей в течение одного тактового интервала. Эта информация определяется в процессе инициализации, когда измеряется защищенность принимаемого на противоположной стороне сигнала на частоте каждой несущей. По результатам измерений в приемнике ATU-R рассчитываются допустимое количество битов и передаваемая мощность на каждой несущей, и результаты расчетов передаются на ATU-C. Для ADSL количество битов на одну несущую может составлять от двух до 15-ти включительно, или быть нулем (в ADSL2 и ADSL2+ обеспечена возможность передачи одного бита в канале). Пример распределения подлежащих передаче битов по несущим приведен на рис. 4.14.



**Рисунок 4.14** – Пример распределения количества передаваемых в течение тактового интервала битов  $V_l$  по несущим  $l$

Важной особенностью распределения битов по несущим является то, что биты быстрого тракта распределяются по несущим с небольшим количеством битов, а биты тракта с перемежением – с большим количеством битов. Это осуществляется с целью минимизации вероятности ошибки при действии в канале связи импульсных помех. Импульсные помехи абонентской линии практически одинаково влияют на каждую несущую в силу равномерного спектра помехи. Однако ошибок при этом будет порождаться больше при демодуляции несущих, промодулированных более плотными сигнальными созвездиями. Это увеличение числа ошибок после демодуляции и выполнения

функций внутреннего уровня декодирования будет скомпенсировано большей корректирующей способностью внешнего кода в тракте с перемежением.

#### 4.5.4 Решетчатое кодирование и преобразование битов

Распределенные по несущим биты передаваемой информации до преобразования в соответствующие сигналы сигнальных созвездий подвергаются внутреннему кодированию, рекомендованные алгоритмы которого иллюстрирует рис. 4.15.

На вход схемы преобразования поступает двоичный символ  $u = (u_{z'}, u_{z'-1}, \dots, u_1)$ , состоящий из  $z' = x + y - 1$  битов, подлежащих передаче на двух соседних несущих СП ADSL, где  $x$  и  $y$  – количество битов, подлежащих передаче на первой и второй из этих несущих соответственно (вычитание единицы связано с тем, что на две несущие приходится один избыточный бит, полученный в результате сверточного кодирования). Младшие биты символа  $u$  ( $u_1$  и  $u_2$ ) преобразовываются с помощью сверточного кодера (см. рис. 4.16) в биты  $u_0$ ,  $u_1$  и  $u_2$ .

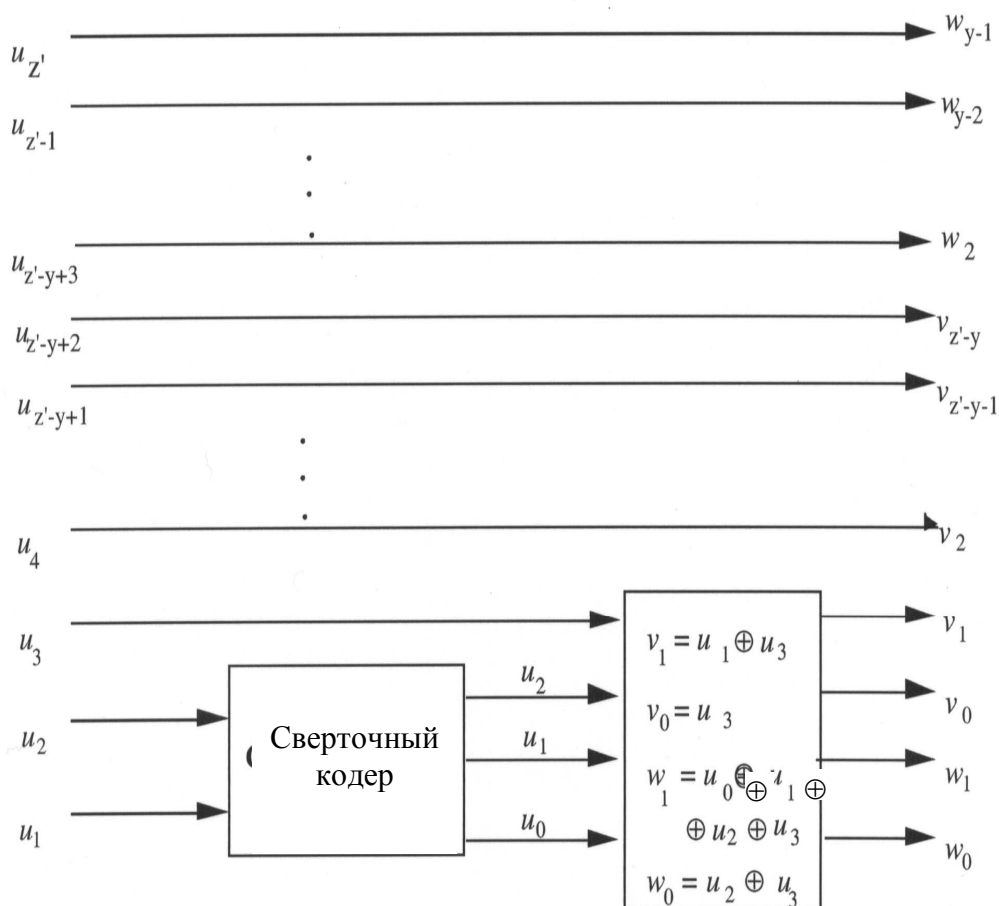
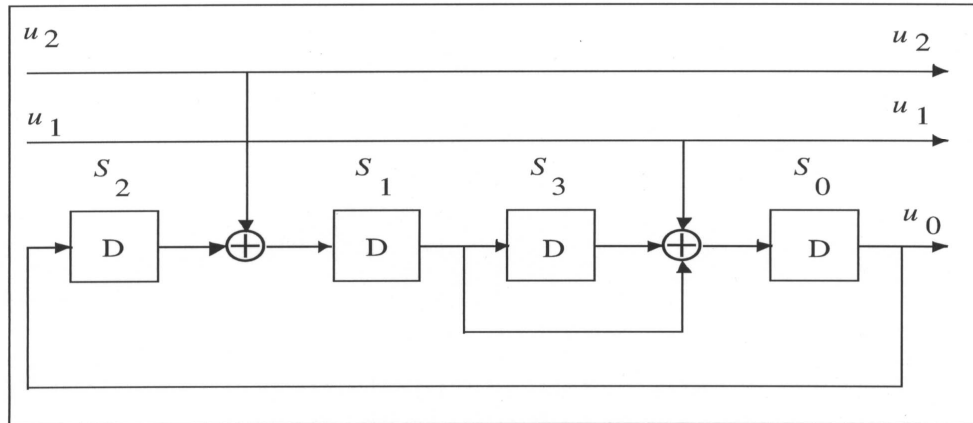


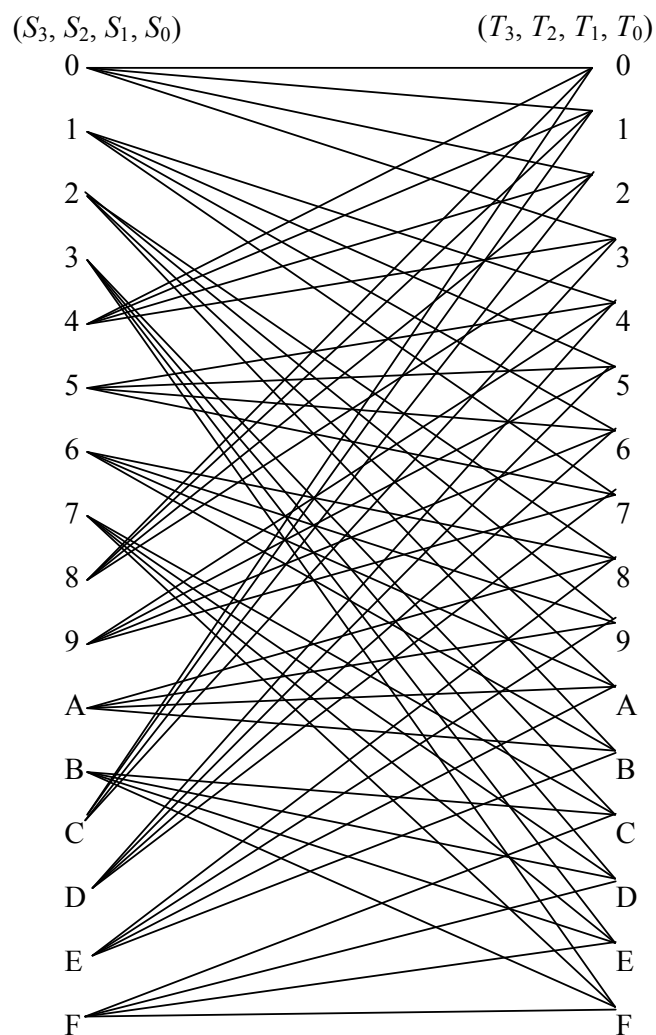
Рисунок 4.15 – Схема преобразования битов

Соответствующая сверточному кодеру решетчатая диаграмма приведена на рис. 4.17, где  $S = (S_3, S_2, S_1, S_0)$  является двоичным представлением текущего состояния (от 0 до F), в то время как  $T = (T_3, T_2, T_1, T_0)$  является двоичным представлением следующего состояния (также от 0 до F). Рассмотренная

решетчатая диаграмма используется при декодировании кода по алгоритму Витерби. В результате кодирования двоичное слово  $u = (u_{z'}, u_{z'-1}, \dots, u_1)$  преобразуется в два двоичных слова  $v = (v_{z'-y}, \dots, v_0)$  и  $w = (w_{y-1}, \dots, w_0)$ , каждое из которых используется для задания точки созвездия на соответствующей несущей.



**Рисунок 4.16** – Схема сверточного кодера



**Рисунок 4.17** – Решетчатая диаграмма

### 4.5.5 Кодер созвездий

Для каждой несущей кодер созвездий должен преобразовать двоичные слова (символы)  $v$  и  $w$  в точку  $(a_l, b_l)$  сигнального созвездия, где координаты  $a_l$  и  $b_l$  являются нечетными целыми числами. Для удобства описания каждая точка созвездия обозначается целым числом, двоичное представление которого соответствует подлежащему кодированию набору битов.

Например, при количестве подлежащих кодированию битов  $n = 2$  созвездия состоят из четырех точек, которые обозначаются как 0, 1, 2, 3 и соответствуют наборам битов (0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1) соответственно. На рис. 4.18 изображены примеры созвездий для  $n = 2$  и  $n = 4$ .

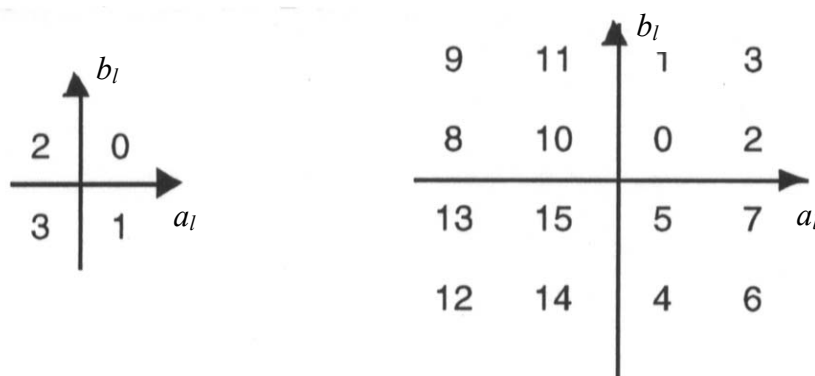


Рисунок 4.18 – Точки созвездия для  $n = 2$  и  $n = 4$

Четырёхбитовое созвездие может быть получено из 2-битового путем замены каждой точки  $x$  блоком точек  $2 \times 2$ :

$$\begin{array}{cc} 4x + 1 & 4x + 3 \\ 4x & 4x + 2 \end{array}$$

Такая же процедура может быть применена для конструирования созвездий с большим четным числом битов. Созвездия для четного числа  $n$  представляют собой квадрат.

На рис. 4.19 и 4.20 показаны созвездия для  $n = 3$  и  $n = 5$  соответственно.

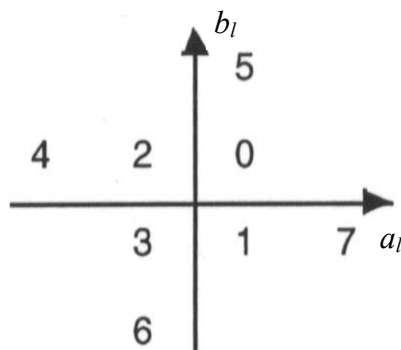
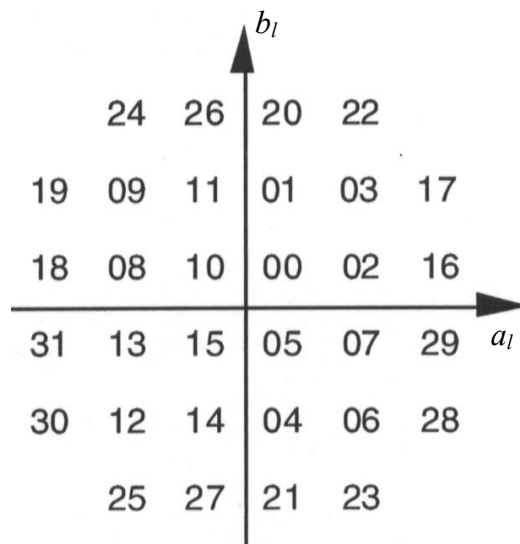


Рисунок 4.19 – Точки созвездия для  $n = 3$





**Рисунок 4.20** – Точки созвездия для  $n = 5$

Семибитовое созвездие может быть получено из пятибитового путем замены каждой точки  $x$  блоком точек  $2 \times 2$ :

$$\begin{array}{cc} 4x + 1 & 4x + 3 \\ 4x & 4x + 2 \end{array}$$

Такая же процедура может затем осуществляться для конструирования созвездий с большим нечетным числом битов.

### **Вопросы для закрепления**

1. Назвать основные характеристики и преимущества систем передачи на основе технологии xDSL.
2. Дать характеристику вариантов дискретных спектров СП ADSL.
3. Особенности построения передатчика ADSL.
4. Назначение алгоритмов циклической избыточности проверки, скремблирования, перемежения.
5. Особенности алгоритма помехоустойчивого кодирования.
6. Алгоритм распределения битов информации по несущим.
7. Алгоритм решётчатого кодирования.
8. Алгоритм кодирования созвездий.

## 5 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ОБОРУДОВАНИЯ xDSL-ДОСТУПА

### 5.1 Рекомендации МСЭ-Т, стандартизирующие СП xDSL

Характеристики приемопередатчиков xDSL регламентированы рекомендациями G.991 – G.993 МСЭ-Т [30 – 38]. В табл. 5.1 приведено соответствие между типами систем передачи (СП) xDSL и регламентирующими их рекомендациями МСЭ-Т.

**Таблица 5.1** Соответствие между типами СП xDSL и рекомендациями МСЭ-Т

Тип СП xDSL	Обозначение рекомендации МСЭ-Т	Год публикации последней версии
HDSL	G.991.1	1998
SHDSL	G.991.2	2003
ADSL	G.992.1	1999
ADSL G.Lite (Splitterless ADSL – ADSL без сплиттера)	G.992.2	1999
ADSL2	G.992.3	2005
Splitterless ADSL2 (ADSL2 без сплиттера)	G.992.4	2002
ADSL2+	G.992.5	2005
VDSL	G.993.1	2004
VDSL2	G.993.2	2006

Многообразие разновидностей СП xDSL не исчерпывается приведенными в табл. 5.1 типами. СП каждого типа могут быть реализованы в различных вариантах, определяемых приложениями (Annex – в английском варианте) к соответствующим рекомендациям. Варианты СП, определяемые соответствующими приложениями, отличаются в основном диапазоном частот сигнала на выходе передатчика в нисходящем и восходящем направлениях передачи и маской спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика (маска определяет максимально допустимые значения спектральной плотности мощности сигнала на каждой частоте).

В списке литературы [30 – 38] перечислены приложения для всех типов СП xDSL, кроме HDSL и SHDSL. СП HDSL далее не рассматривается в силу того, что она фактически вытеснена СП SHDSL, а последняя описана в разделе 6.

### 5.2 Эволюция ADSL и VDSL

Технологии ADSL и VDSL стремительно развиваются: в течение 7 лет, начиная с 1999 года, когда была принята Рекомендация G.992.1 МСЭ-Т (ADSL),

стандартизировано 5 типов систем ADSL и 2 типа систем VDSL (см. табл. 5.1). Ниже приведено краткое описание каждого из этих типов СП.

*Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL (Asymmetric DSL)*, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.992.1, обеспечивает скорость передачи до 6,144 Мбит/с в нисходящем направлении и до 640 кбит/с – в восходящем направлении. Оборудование большинства производителей обеспечивает скорость передачи до 8 Мбит/с в нисходящем направлении и до 1 Мбит/с – в восходящем направлении. Асимметричность скорости передачи в комплексе с постоянно установленным соединением (когда исключается необходимость каждый раз набирать телефонный номер и ждать установления соединения) делает технологию ADSL идеальной для организации доступа к сети Интернет. Технология ADSL позволяет сохранить телефонную связь путем использования частотных разделителей (сплиттеров): одного – на АТС, а другого – в помещении пользователя. К одному входу сплиттера в помещении пользователя подключается аналоговый телефонный аппарат, а к другому – ADSL-модем, который в зависимости от реализации может выполнять также функции маршрутизатора, коммутатора или моста. При этом работа ADSL-модема не мешает функционированию традиционной телефонной связи, работающей независимо от того, функционирует ли канал ADSL.

**Примечание 1.** В Приложении Н к Рекомендации МСЭ-Т G.992.1 описан симметричный вариант ADSL, обеспечивающий скорость передачи от 192 до 1600 кбит/с как в нисходящем, так и в восходящем направлениях. Предусмотрено использование полностью цифрового режима передачи (когда используются несущие с частотами  $n$  4,3125 кГц, где  $n = 1, 2, \dots, 5$ ).

**Примечание 2.** В Приложении I Изменения 1 от 2003 г. к Рекомендации МСЭ-Т G.992.1 фактически описан прототип ADSL 2+, обеспечивающий скорость передачи до 24 Мбит/с в нисходящем направлении.

*Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL G.Lite* согласно Рекомендации МСЭ-Т G.992.2 – это вариант технологии ADSL, обеспечивающий скорость передачи в нисходящем направлении до 1,5 Мбит/с, а в восходящем направлении – до 512 кбит/с. Оборудование технологии G.Lite является более простым в установке и более дешевым, чем ADSL. Одним из путей упрощения установки модемов ADSL G.Lite стало введение высокочастотной части сплиттера в корпус модемов, что избавило от необходимости установки внешнего сплиттера (отсюда и название – Splitterless ADSL (ADSL без сплиттера)).

*Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL 2* согласно Рекомендации МСЭ-Т G.992.3 является усовершенствованной версией ADSL. Технология ADSL2 обеспечивает скорость передачи в нисходящем направлении до 8 Мбит/с, а в восходящем направлении – до 800 кбит/с. Оборудование большинства производителей обеспечивает скорость передачи до 12 Мбит/с в нисходящем направлении и до 1 Мбит/с в восходящем направлении. Увеличение скорости передачи по сравнению с ADSL, соответствующей Рекомендации G.992.1, обусловлено внесением целого ряда описанных ниже усовершенствований.

1) Более гибкое и эффективное построение кадра, что позволяет управлять количеством служебной информации (от 4 кбит/с до 64 кбит/с), то есть уменьшить ее объём, а значит увеличить скорость передачи полезной информации, что особенно важно на длинных линиях.

2) Структура кадров позволяет более эффективно использовать выигрыш за счёт кодирования Рида–Соломона.

3) Обновлены процедуры диагностики линии, предназначенные для выявления неисправностей и мониторинга характеристик линий ADSL 2 во время работы: приемопередатчики ADSL 2 могут осуществлять измерения уровня шума в линии, затухания и отношения сигнал/шум на обоих концах линии. При этом измерения этих параметров могут осуществляться даже при невозможности установления нормального соединения по данной линии.

4) Добавлена поддержка однобитовых кодовых созвездий, что позволяет получить большую дальность работы системы на малых скоростях.

5) Улучшены процедуры управления передачей. Например, система может адаптировать скорость передачи данных в режиме реального времени. Это нововведение, называемое фоновой адаптацией скорости (Seamless Rate Adaptation, SRA), позволяет системам ADSL 2 изменять скорость передачи данных прямо во время работы без прерываний связи або битовых ошибок. Для этого система диагностирует изменения характеристик канала связи (например, когда местная АМ-радиостанция выключает свой передатчик на ночь) и незаметно для пользователя меняет скорость передачи.

6) Добавлена функция регулирования потребляемой мощности, позволяющая системе находиться в устойчивом режиме  $L0$  (режиме постоянной передачи полезной информации), режиме низкого потребления мощности  $L2$  (потребляемая мощность зависит от характера трафика) или в режиме холостого хода  $L3$  (спящий режим, когда информация длительное время не передается).

*Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL 2 без сплиттера*, соответствующая Рекомендации G.992.4, – следующее поколение технологии ADSL G.Lite. По сравнению с технологией ADSL G.Lite, ADSL 2 без сплиттера имеет ряд усовершенствований:

- оптимизирована поддержка цифровых служб и передачи голоса;
- оптимизирована возможность изменения характеристик линии «на ходу»;
- оптимизированы процедуры управления спектром передачи;
- добавлена поддержка однобитовых кодовых созвездий;
- добавлен полностью цифровой режим работы.

*Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL 2+*, соответствующая Рекомендации G.992.5, обеспечивает скорость передачи в нисходящем направлении до 16 Мбит/с, а в восходящем – до 800 кбит/с. Оборудование ADSL2+ большинства производителей обеспечивает скорость передачи в восходящем направлении до 1 Мбит/с, а в нисходящем направлении – до 24 Мбит/с. Такое увеличение скорости передачи стало возможным за счет

почти двукратного (до 2,208 МГц) расширения полосы частот, используемой для передачи в нисходящем направлении.

Основные отличия ADSL 2+ от ADSL 2:

- поддержка до трёх кодовых слов кода Рида–Соломона на один DMT-символ;
- усовершенствованы процедуры управления спектром при установлении соединения и во время передачи информации;
- улучшена поддержка услуг, требующих высоких скоростей передачи данных в нисходящем направлении (например, широкополосные развлекательные услуги).

**Примечание.** Прототип ADSL 2+, обеспечивающий скорость передачи до 24 Мбит/с в нисходящем направлении, фактически описан в Приложении I Изменения 1 от 2003 г. к Рекомендации МСЭ-T G.992.1.

*Сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line), соответствующая Рекомендации G.993.1, обеспечивает в асимметричном варианте скорость передачи в нисходящем направлении до 57 Мбит/с, а в восходящем – до 33 Мбит/с. В симметричном варианте скорость передачи в обоих направлениях составляет до 33 Мбит/с (однако такая высокая скорость передачи достигается только на небольших расстояниях: около 300 м при скорости 57 Мбит/с и около 1,8 км – при скорости 13 Мбит/с). Технология VDSL может использоваться с теми же целями, что и ADSL, а также для передачи сигналов телевидения высокой четкости (HDTV), видео по запросу и т.д.*

*Сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия VDSL 2, соответствующая Рекомендации G.993.2 обеспечивает суммарную скорость передачи в нисходящем и восходящем направлениях до 200 Мбит/с.*

Основные отличия VDSL 2 от VDSL:

- определены планы частот до 30 МГц, что позволяет получить суммарную скорость передачи до 200 Мбит/с (скорость передачи в нисходящем направлении плюс скорость передачи в восходящем направлении);
- определено большее количество профилей для поддержки широкого спектра сценариев установки (например, на АТС, в распределительном ящике с подведенной к нему оптоволоконной линией, в здании абонента и т.п.);
- увеличена до 20,5 дБм максимальная мощность передачи в нисходящем направлении;
- регламентирована обязательная поддержка решетчатого кодирования;
- улучшены процедуры инициализации;
- регламентирована обязательная поддержка всех типов сигнальных созвездий для передачи от 1 до 15 битов в течение тактового интервала;
- обеспечена поддержка широкого спектра параметров тестирования (по аналогии с ADSL 2);
- улучшено строение кадра, основанное на ADSL2, с усовершенствованным служебным каналом;

- улучшены возможности избыточного кодирования и перемежения, расширен спектр настроек кодирующего устройства кода Рида–Соломона и устройства перемежения;
- обеспечена поддержка полностью цифрового режима работы.

### **5.3 Характеристики интерфейсов ADSL и VDSL**

Характеристики интерфейсов ADSL и VDSL сведены в таблицу 5.2, в которой даны ссылки на соответствующие рисунки.

Для каждой разновидности СП xDSL на рис. 5.1 – 5.41 представлены маски спектральной плотности мощности (СПМ) сигнала на выходе передатчика, определяющие максимально допустимые значения спектральной плотности мощности сигнала на каждой частоте. В ряде случаев суммарная мощность в диапазоне частот от 0 кГц до 4 кГц (обозначаемом на рисунках фигурной скобкой) ограничена величиной 15 дБ(пВт) (единица измерения дБ(пВт) означает децибелы по отношению к нулевому уровню 1 пВт). Скорость возрастания СПМ измеряется в «дБ/октава»: например, запись «21 дБ/окт.» означает, что СПМ сигнала возрастает на 21 дБ при увеличении частоты в 2 раза.

В подписях к рисункам использованы следующие сокращения:

- ATU-C – ADSL Transceiver Unit-Central office end (приемопередатчик ADSL на станционной стороне);
- ATU-R – ADSL Transceiver Unit-Remote terminal end (приемопередатчик ADSL на стороне пользователя);
- VTU-O – VDSL(2) Transceiver Unit at the Optical network unit (приемопередатчик VDSL(2) на оптическом сетевом узле);
- VTU-R – VDSL(2) Transceiver Unit at the Remote site (приемопередатчик VDSL(2) на стороне пользователя).

**Примечание.** VDSL(2) обозначает VDSL или VDSL 2

**Таблица 5.2 – Характеристики интерфейсов ADSL и VDSL**

Разновидность СИ xDSL	Рекомендация MCE-T	Скорость передачи, кбит/с		Номинальная СИМ в полосе частот наибольшего сосредоточения спектра, дБм/Гц		Максимальная мощность сигнала на выходе передатчика в полосе пропускания, дБм		Диапазон частот, кГц		Разнос между соседними несущими, кГц	Минимальное затухание асимметрии, дБ		Маска спектра сигнала на выходе передатчика	
		нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.		нисх.	восх.	нисх.	восх.
1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL Annex A	G.992.1	32–6144 с шагом 32	32–640 с шагом 32	-40	-38	20,4	12,5	от 25,875 до 1104 (с перекрытием спектров сигналов встречных направлений передачи) или от 138 до 1104 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	40 (в диапа- зоне частот от 30 до 1104 кГц)		Рис. 5.1 и 5.2	Рис. 5.3
ADSL Annex B		32–6144 с шагом 32	32–640 с шагом 32	-40	-38	19,9	13,3	от 138 до 1104	от 138 до 276	4,3125	40 (в диапазоне частот от 138 до 1104 кГц)		Рис. 5.4	Рис. 5.5
ADSL Annex C		32–6144 с шагом 32	32–640 с шагом 32	-40	-38	20,4	12,5	от 25,875 до 1104 (с перекр.) или от 138 до 1104 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	40 (в диапазоне частот от 30 до 1104 кГц)		Рис. 5.1 и 5.2	Рис. 5.3

Таблица 5.2 (продолжение)

1	2	3		4		5		6		7	8	9	
ADSL Annex I	G.992.1	32–6144 (опция 24448) с шагом 32 (опция 96)	32–640 с шагом 32	-40	-38	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	12,5	от 25,875 до 2208 (с перекр.) или от 138 до 2208 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	40 (в диапазоне частот от 30 до 2208 кГц)	Рис. 5.6 и 5.7	Рис. 5.3
ADSL Annex H		192–1600 с шагом 32	192–1600 с шагом 32	-40	-40	20,4	20,4	от 25,875 до 1104 или от 4,3125 до 1104	от 25,875 до 1104 или от 4,3125 до 1104	4,3125	40 (в диапазоне частот от 4,3125 до 1104 кГц)	Рис. 5.8	Рис. 5.8
ADSL G.Lite Annex A	G.992.2	32–1536 с шагом 32	32–512 с шагом 32	-40	-38	16,2	12,5	от 138 до 552	от 25,875 до 138	4,3125	40 (в диапазоне частот от 30 до 552 кГц)	Рис. 5.9	Рис. 5.3
ADSL G.Lite Annex B		32–1536 с шагом 32	32–512 с шагом 32	-40	-38	17,2	12,5	от 25,875 до 552	от 25,875 до 138	4,3125	40 (в диапазоне частот от 30 до 552 кГц)	Рис. 5.10	Рис. 5.3
ADSL G.Lite Annex C		32–1536 с шагом 32	32–512 с шагом 32	-40	-38	16,2 или 17,2	12,5	от 138 до 552 или от 25,875 до 552	от 25,875 до 138	4,3125	40 (в диапазоне частот от 30 до 552 кГц)	Рис. 5.9 или рис. 5.10	Рис. 5.3



**Таблица 5.2 (продолжение)**

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL2 Anex A	G.992.3	32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	от 25,875 до 1104 (с перекр.) или от 138 до 1104 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	50 (в диап. от 30 до 138 кГц), 40 (в диап. от 138 до 1104 кГц)	50 (в диап. от 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.11, 5.12	Рис. 5.3
ADSL2 Annex B		32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,4 (с перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,8	от 120 до 1104 (с перекр.) или от 254 до 1104 (без перекр.)	от 120 до 276	4,3125	50 (в диап. от 120 до 276 кГц), 40 (в диап. от 276 до 1104 кГц)	50 (в диап. от 120 до 1104 кГц)	Рис. 5.13, 5.14	Рис. 5.15
ADSL2 Annex C.A		32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	от 25,875 до 1104 (с перекр.) или от 138 до 1104 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	50 (в диап. от 30 до 138 кГц), 40 (в диап. от 138 до 1104 кГц)	50 (в диап. от 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.11, 5.12	Рис. 5.3
ADSL2 Annex C.B		32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 41	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	от 25,875 до 1104 (с перекр.) или от 138 до 1104 (без перекр.)	от 25,875 до 276	4,3125	50 (в диап. от 120 до 276 кГц), 40 (в диап. от 276 до 1104 кГц)	50 (в диап. от 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.11, 5.12	Рис. 5.16

Таблица 5.2 (продолжение)

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL2 Annex I	G.992.3	32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13,8	от 3 до 1104 (с перекр.) или от 138 до 1104 (без перекр.)	от 3 до 138	4,3125	50 (в диап. от 4 до 138 кГц), 40 (в диап. от 138 до 1104 кГц)	50 (в диап. от 4 до 1104 кГц)	Рис. 5.17, 5.18	Рис. 5.19
ADSL2 Annex J		32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38 (см. табл. 5.4)	20,9 (с перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,9	от 3 до 1104 (с перекр.) или от 254 до 1104 (без перекр.)	от 3 до $f_1$ (см. табл. 5.4)	4,3125	50 (в диап. от 4 до 276 кГц), 40 (в диап. от 276 до 1104 кГц)	50 (в диап. от 4 до 1104 кГц)	Рис. 5.17, 5.14	Рис. 5.20
ADSL2 Annex L		32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 36,4 (маска 1), - 32,9 (маска 2)	19,4 (с перекр.) 19,3 (без перекр.)	13	от 25,875 до 552 (с перекр.) или от 138 до 552 (без перекр.)	от 25,875 до 103,5 (маска 1) или от 25,875 до 60,375 (маска 2)	4,3125	50 (в диап. от 30 до 103,5 кГц), 40 (в диап. от 103,5 до 552 кГц)	0 (в диап. от 30 до 552 кГц)	Рис. 5.21, 5.22	Рис. 5.23 (маска 1) 5.24 (маска 2)
ADSL2 Annex M		32–8000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38 (см. табл. 5.3)	20,9 (с перекр.) 19,8 (без перекр.)	13 (см. табл. 5.3)	от 25,875 до 1104 (с перекр.) или от 254 до 1104 (без перекр.)	от 25,875 до $f_1$ (см. табл. 5.3)	4,3125	50 (в диап. от 30 до 276 кГц), 40 (в диап. от 276 до 1104 кГц)	50 (в диап. от 30 до 1104кГц)	Рис. 5.11 и 5.14	Рис. 5.16

**Таблица 5.2** (продолжение)

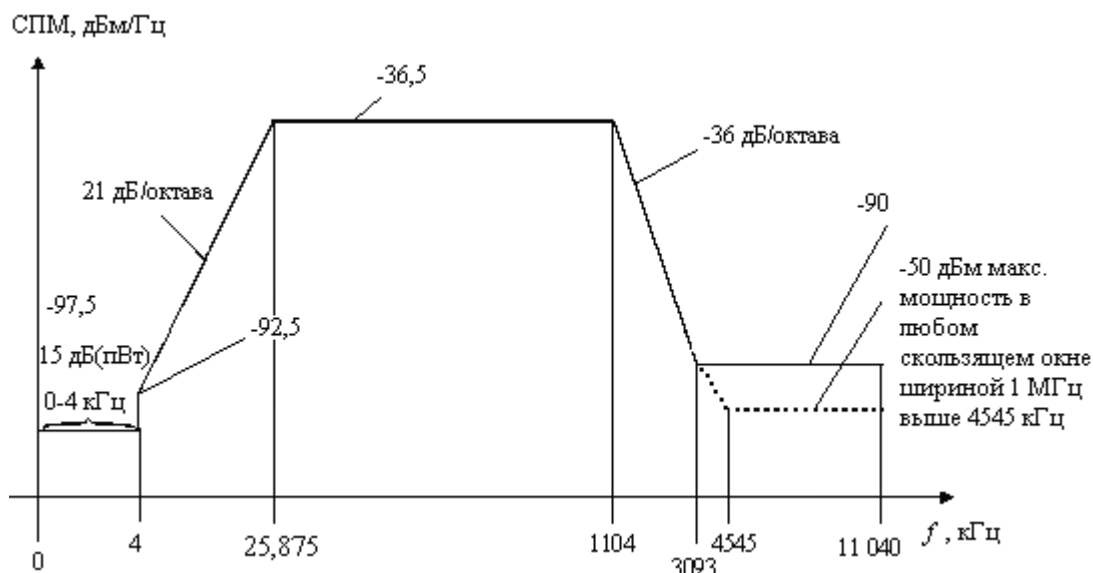
1	2	3		4		5		6		7	8		9	
Splitterless ADSL2 Annex A	G.992.4	32–1536 с шагом 32	32–512 с шагом 32	- 40	- 38	17,7 (с перекр.) 16,7 (без перекр.)	13	от 25,875 до 552 (с перекр.) или от 138 до 552 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	50 (в диапа. от 30 до 138 кГц), 40 (в диапа. от 138 до 552 кГц)	50 (в диапа. от 30 до 552 кГц)	Рис. 5.10, 5.9	Рис. 5.3
Splitterless ADSL2 Annex I		32–1536 с шагом 32	32–512 с шагом 32	- 40	- 38	17,7 (с перекр.) 16,7 (без перекр.)	13,8	от 3 до 552 (с перекр.) или от 138 до 552 (без перекр.)	от 3 до 138	4,3125	50 (в диапа. от 4 до 138 кГц), 40 (в диапа. от 138 до 552 кГц)	50 (в диапа. от 4 до 552 кГц)	Рис. 5.25, 5.26	Рис. 5.19
ADSL2+ Annex A	G.992.5	32–16000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	от 25,875 до 2208 (с перекр.) или от 138 до 2208 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	50 (в диапа. от 30 до 138 кГц), 40 (в диапа от 138 до 2208 кГц)	50 (в диапа. от 30 до 1104 кГц), 40 (в диапа. от 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.7	Рис. 5.27
ADSL2+ Annex B		32–16000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,4 (с перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,8	от 120 до 2208 (с перекр.) или от 254 до 2208 (без перекр.)	от 120 до 276	4,3125	50 (в диапа. от 120 до 276 кГц), 40 (в диапа. от 276 до 2208 кГц)	50 (в диапа. от 120 до 1104 кГц), 40 (в диапа. от 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.28, 5.29	Рис. 5.30

Таблица 5.2 (продолжение)

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL2+ Annex C.A	G.992.5	32–16000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	25,875-2208 (с перекр.) или от 138 до 2208 (без перекр.)	от 25,875 до 138	4,3125	50 (в диап. от 30 до 138 кГц), 40 (в диап. от 138 до 2208 кГц)	50 (в диап. от 30 до 1104 кГц), 40 (в диап. от 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.7	Рис. 5.27
ADSL2+ Annex C.B		32–16000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 41	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	25,875-2208 (с перекр.) или от 138 до 2208 (без перекр.)	от 25,875 до 276	4,3125	50 (в диап. от 120 до 276 кГц), 40 (в диап. от 276 до 2208 кГц)	50 (в диап. от 30 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.7	Рис. 5.16
ADSL2+ Annex I		32–16000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38	20,9 (с перекр.) 20,4 (без перекр.)	13,8	3–2208 (с перекр.) или от 138 до 2208 (без перекр.)	от 3 до 138	4,3125	50 (в диап. от 4 до 138 кГц), 40 (в диап. от 138 до 2208 кГц)	50 (в диап. от 4 до 1104 кГц), 40 (в диап. от 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.31, 5.32	Рис. 5.33
ADSL2+ Annex J		32–16000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38 (см. табл. 5.4)	20,9 (с перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,9	3-2208 (с перекр.) или от 254 до 2208 (без перекр.)	от 3 до $f_1$ (табл. 5.4)	4,3125	50 (в диап. от 4 до 276 кГц), 40 (в диап. от 276 до 2208 кГц)	50 (в диап. от 4 до 1104 кГц), 40 (в диап. от 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.31, 5.29	Рис. 5.20
ADSL2+ Annex M		32–16000 с шагом 32	32–800 с шагом 32	- 40	- 38 (см. табл. 5.3)	20,9 (с перекр.) 19,8 (без перекр.)	13 (см. табл. 5.3)	25,875 – 2208 (с перекр.) или от 254 до 2208 (без перекр.)	от 25,875 до $f_1$ (табл. 5.3)	4,3125	50 (в диап. от 30 до 276 кГц), 40 (в диап. от 276 до 2208 кГц)	50 (в диап. от 30 до 1104 кГц), 40 (в диап. от 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.29	Рис. 5.16

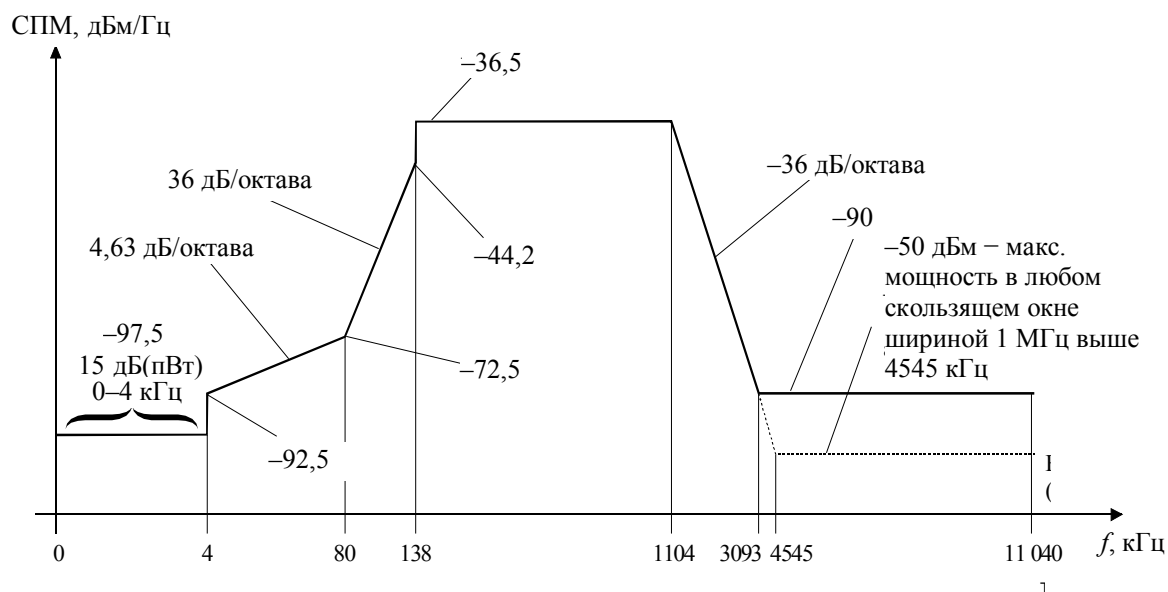
Окончание таблицы 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8	9	
VDSL Annex E	G.993.1	От 64 до 57024 с шагом 64	От 64 до 33024 с шагом 64	- 40	- 38	14,5	11,5	полосы плана частот А: от 25,875 до 138 (опциональная), от 138 до 3750, от 5200 до 8500; полосы плана частот В: от 25,875 до 138 (опциональная), от 138 до 3000, от 5100 до 7050	полосы плана частот А: от 25,875 до 138 (опциональная), от 3750 до 5200, от 8500 до 12000; полосы плана частот В: от 25,875 до 138 (опциональная), от 3000 до 5100, от 7050 до 12000	4,3125	55 (в диап. от 0 до 25 кГц), от 55 на част. 25 кГц до 43 на частоте 30 МГц (см. п. 8.1.3 [45])	см. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.36, 5.37	см. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.36, 5.37
VDSL Appendix III	G.993.1	От 64 до 57024 с шагом 64	От 64 до 33024 с шагом 64	- 40	- 38	14,5	11,5	полосы плана частот А: от 25,875 до 138 (опциональная), от 138 до 3750, от 5200 до 8500; полосы плана частот В: от 25,875 до 138 (опциональная), от 138 до 3000, от 5100 до 7050	полосы плана частот А: от 25,875 до 138 (опциональная), от 3750 до 5200, от 8500 до 12000; полосы плана частот В: от 25,875 до 138 (опциональная), от 3000 до 5100, от 7050 до 12000	8,625	55 (в диап. до 25 кГц), от 55 на част. 25 кГц до 43 на частоте 30 МГц (см. п. 8.1.3 [45])	см. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.34, 5.35	см. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.36, 5.37
VDSL2 Annex B	G.993.2	до 100000	до 100000	- 40	- 38	20,5	14,5	полосы плана частот А: от 25,875 до 138 (опциональная), от 138 до 3750, от 5200 до 8500; полосы плана частот В: от 25,875 до 138 (опциональная), от 138 до 3000, от 5100 до 7050	полосы плана частот А: от 25,875 до 138 (опциональная), от 3750 до 5200, от 8500 до 12000; полосы плана частот В: от 25,875 до 138 (опциональная), от 3000 до 5100, от 7050 до 12000	4,3125 или 8,625	38 (в диап. до 12 МГц)	см. п. В.2 Рек. G.993.2 [38], рис. 5.38, 5.39	см. п. В.2 Рек. G.993.2 [38], рис. 5.40, 5.41



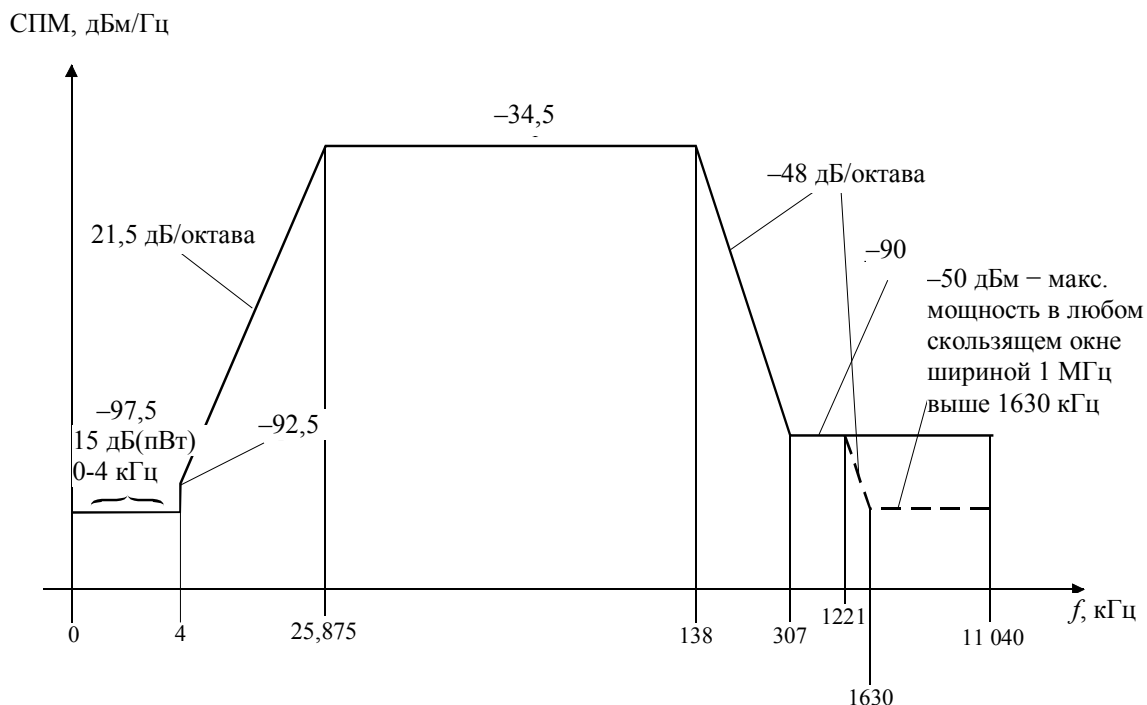
**Примечание.** Штриховой линией обозначен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.1** – Маска спектральной плотности мощности (СПМ) сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.1 Annex A) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема



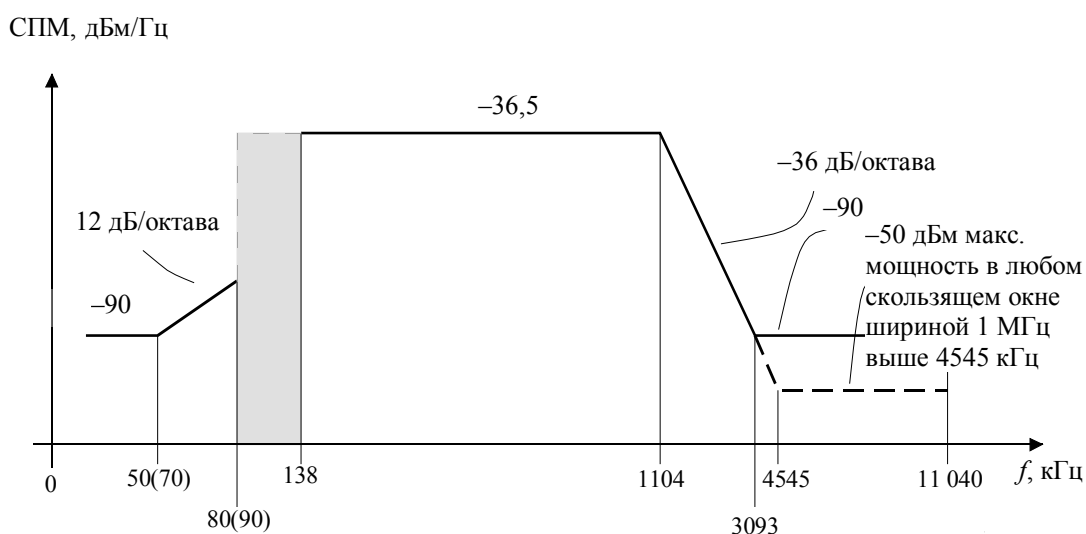
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.2** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.1 Annex A) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f + 1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

**Рисунок 5.3** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.1 Annex A)

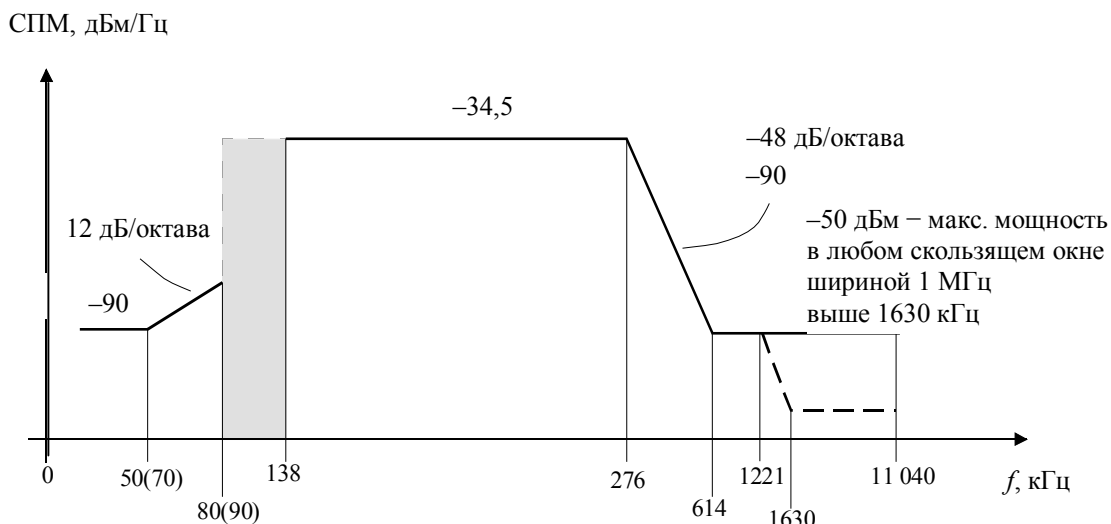


**Примечание 1.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Примечание 2.** Значения спектральной плотности мощности в полосе от 80(90) кГц до 138 кГц зависят от реализации фильтров.

**Примечание 3.** Частоты 50 и 80 кГц относятся к случаю, когда ISDN использует линейный код 2B1Q (G.961 Appendix II). Частоты 70 и 90 кГц относятся к случаю, когда ISDN использует линейный код 4B3T (G.961 Appendix I).

**Рисунок 5.4** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.1 Annex B) при работе по одной линии с ISDN

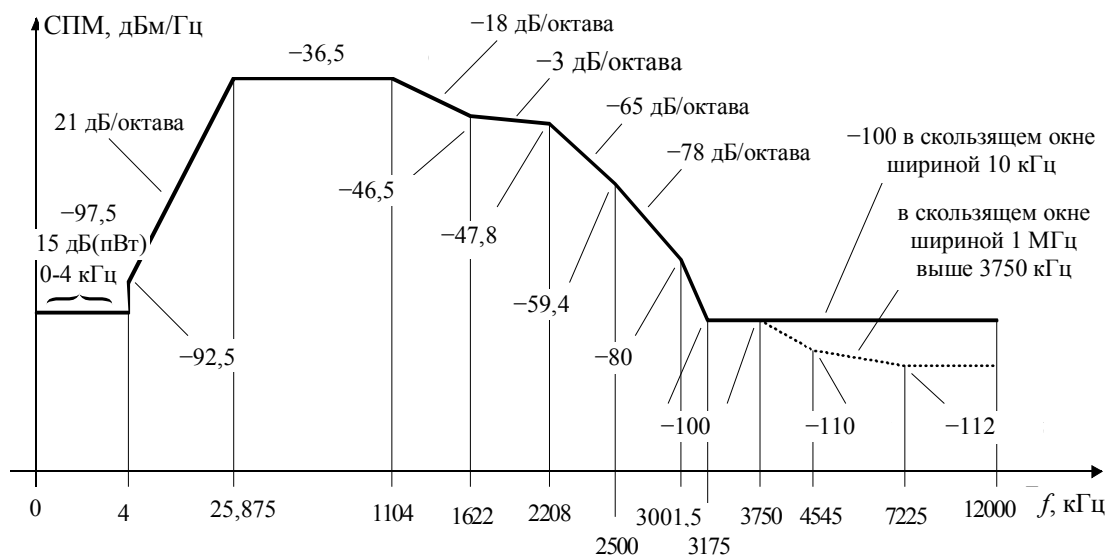


**Примечание 1.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f + 1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

**Примечание 2.** Значения спектральной плотности мощности в полосе от 80(90) кГц до 138 кГц зависят от реализации фильтров.

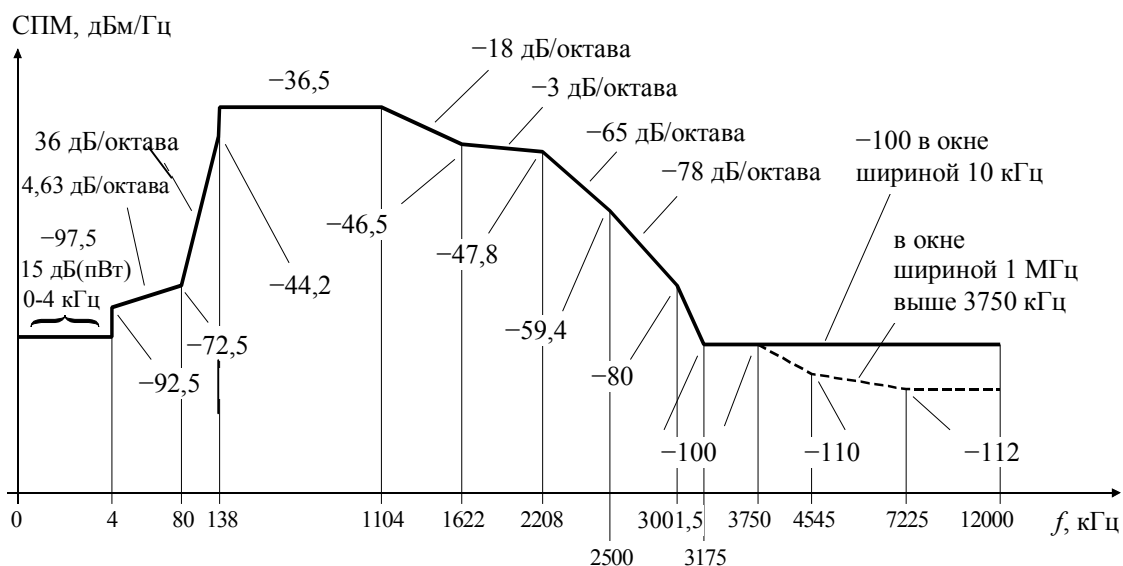
**Примечание 3.** Частоты 50 и 80 кГц относятся к случаю, когда ISDN использует линейный код 2B1Q (G.961 Appendix II). Частоты 70 и 90 кГц относятся к случаю, когда ISDN использует линейный код 4B3T (G.961 Appendix I).

**Рисунок 5.5** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.1 Annex B) при работе по одной линии с ISDN

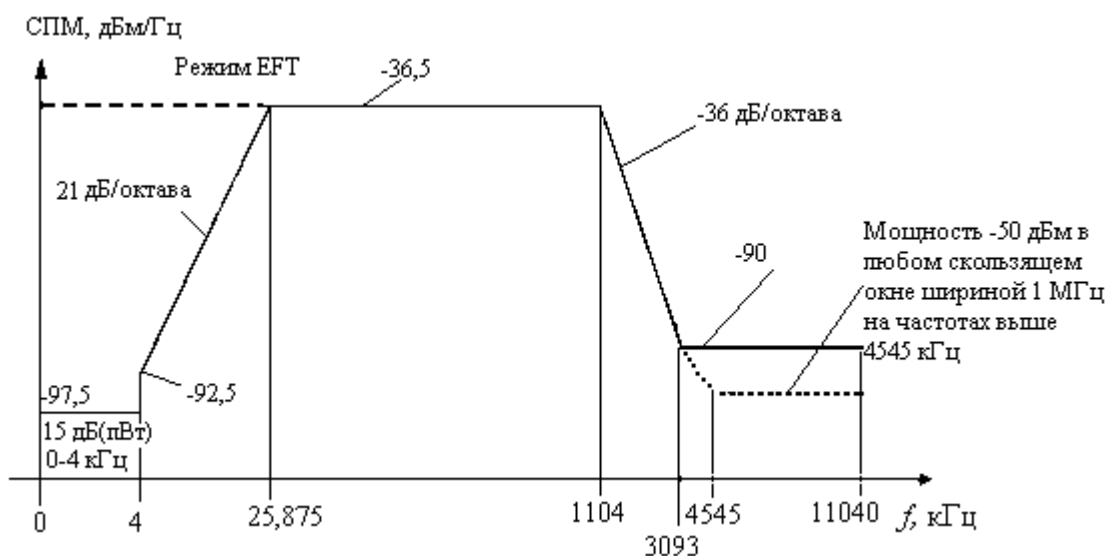


**Рисунок 5.6** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.1 Annex I) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема





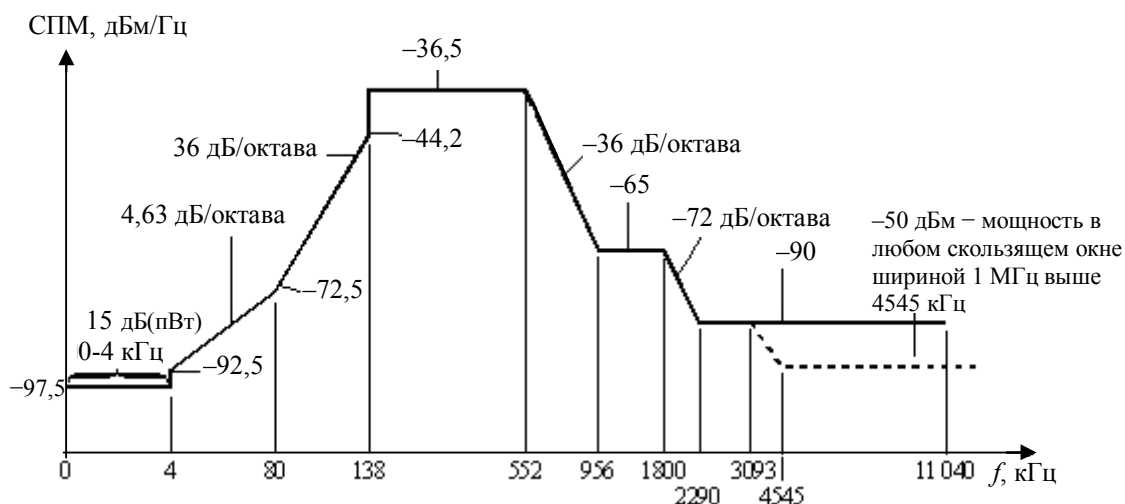
**Рисунок 5.7** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.1 Annex I) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



**Примечание 1.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $(f+1)$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

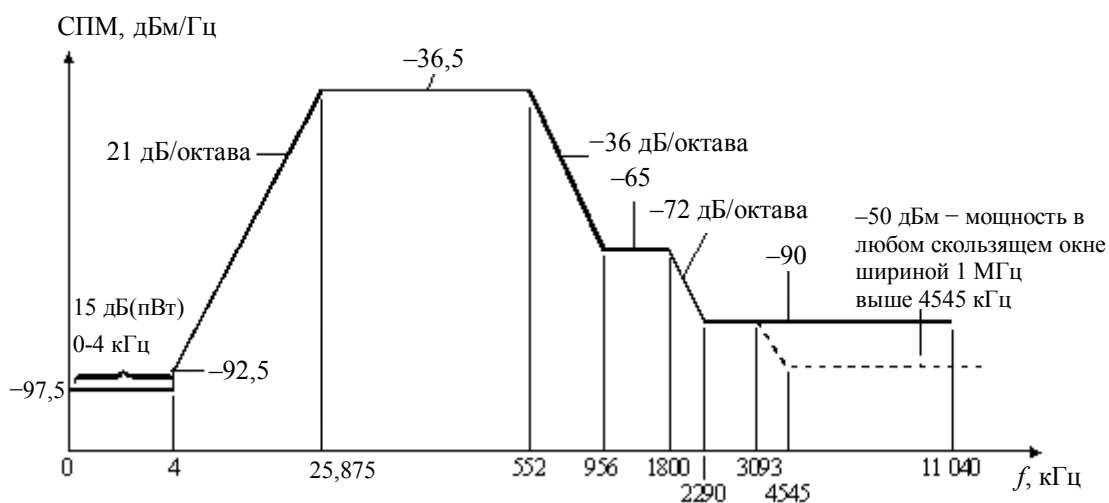
**Примечание 2.** В режиме EFT (Expanded Frequency band Transmission – передача в расширенной полосе частот) для передачи цифровой информации используются также несущие с частотами  $n \cdot 4,3125$  кГц, где  $n = 1, 2, \dots, 5$ .

**Рисунок 5.8** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.1 Annex H)



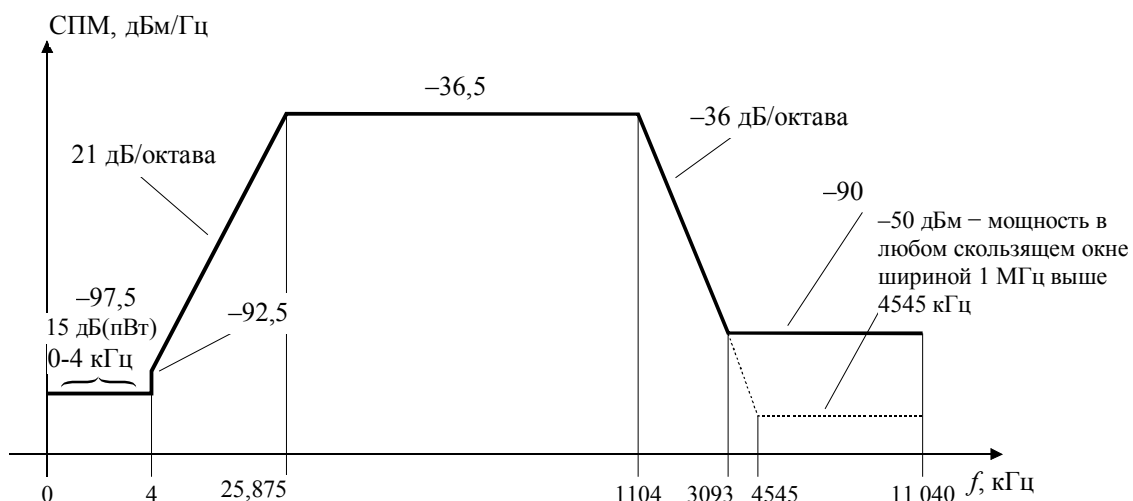
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $(f+1)$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.9** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.2 Annex A) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



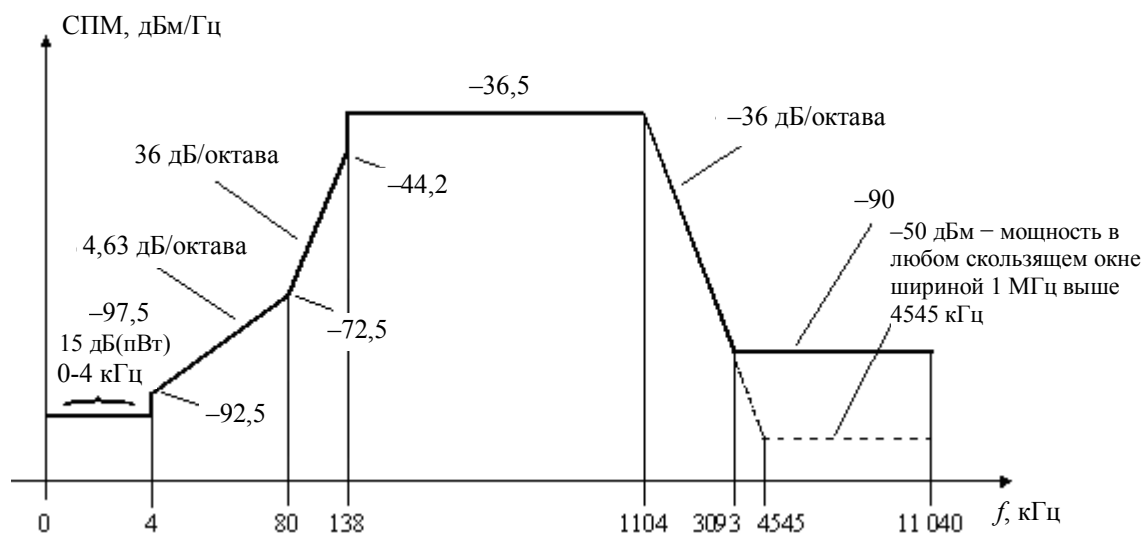
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.10** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.2 Annex B) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема



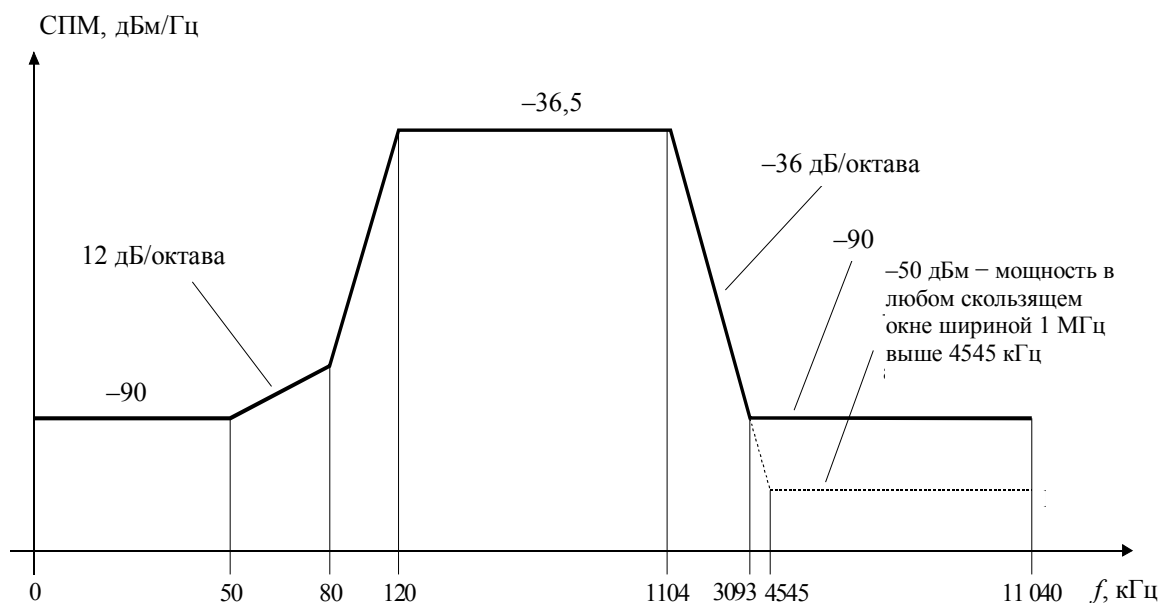
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.11** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 Annex A) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема



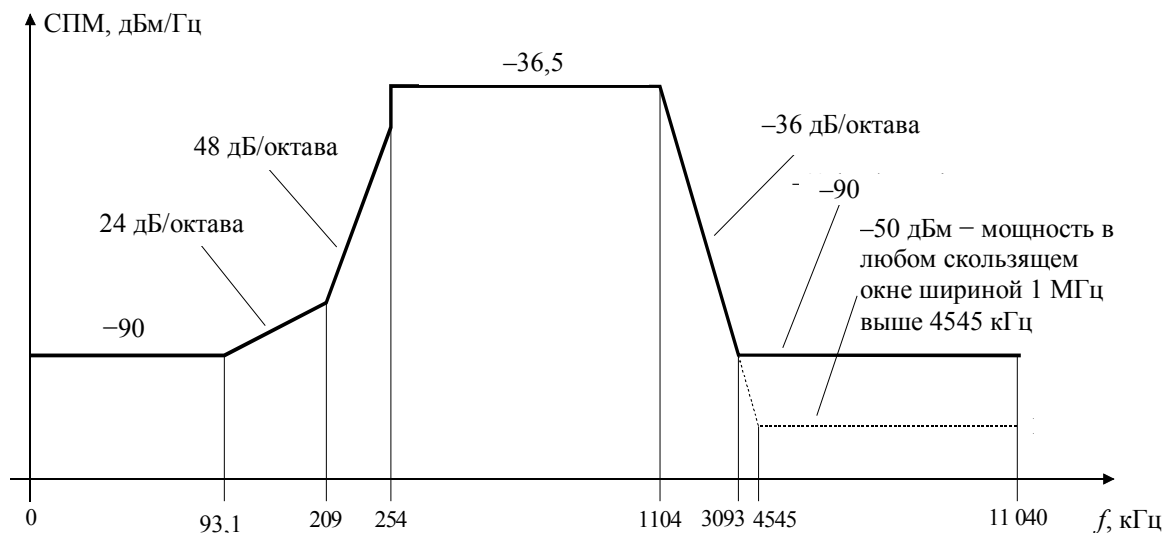
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $(f+1)$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.12** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 Annex A) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



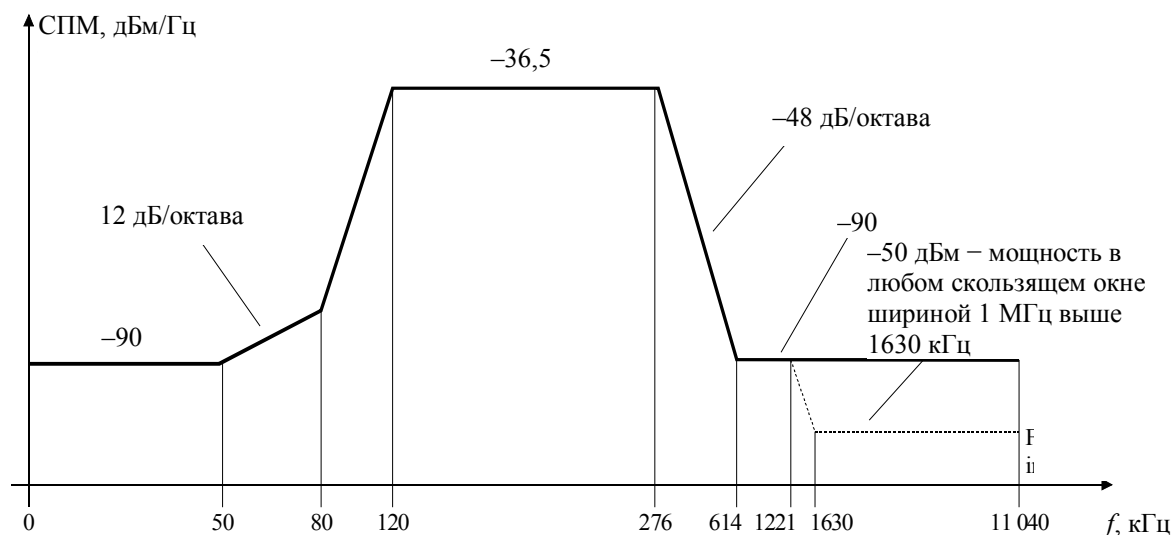
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.13** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 В) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема



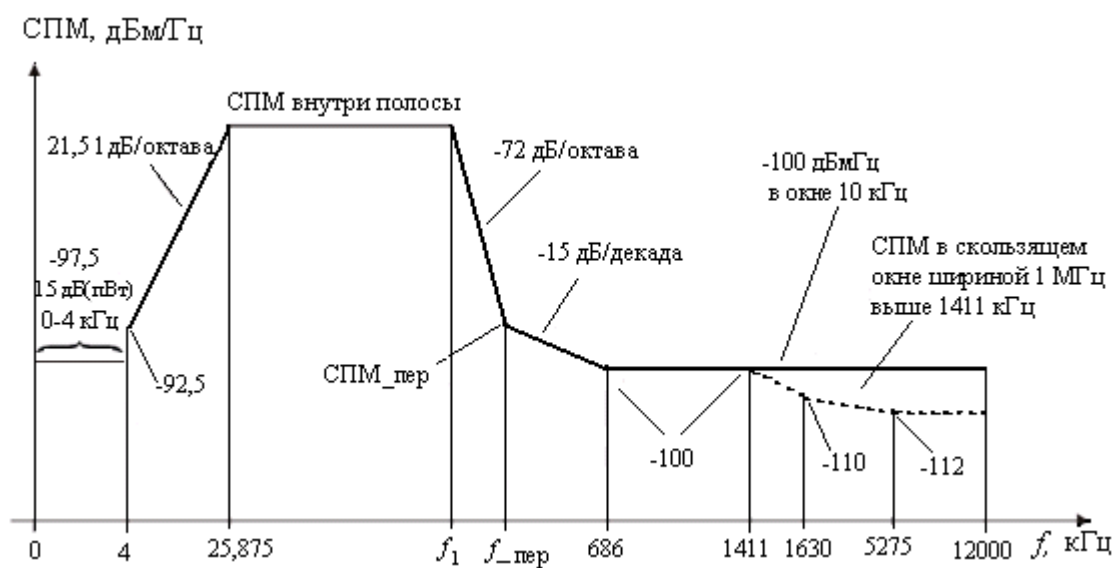
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.14** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 Annex B) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

**Рисунок 5.15** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex B)



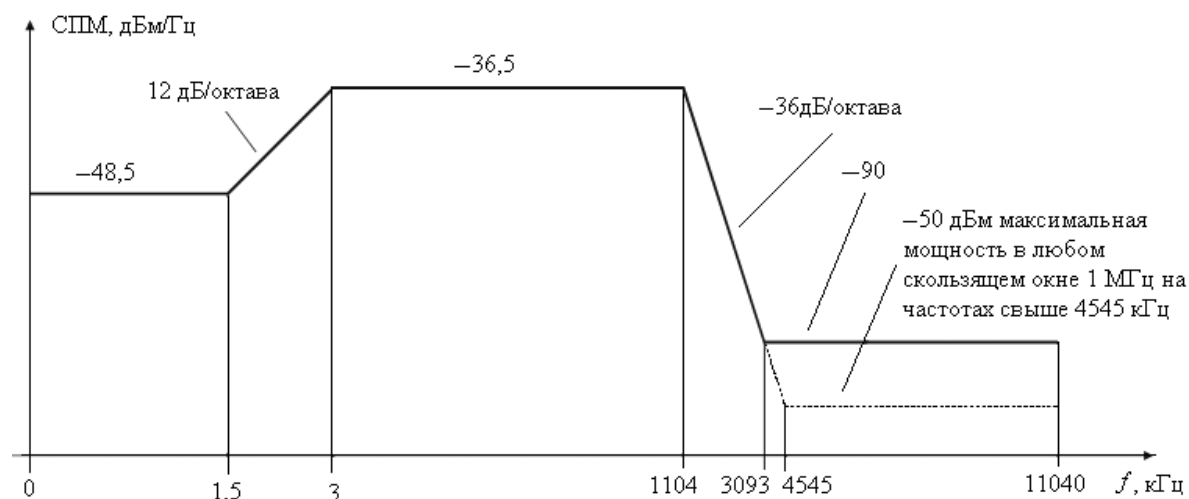
**Примечание 1.** Значения не определенных на рисунке параметров маски определены в табл. 5.3.

**Примечание 2.** Для G.992.3 Annex M и G.992.5 Annex M может применяться любой вариант маски из указанных в табл. 5.3, а для G.992.3 Annex C.B и G.992.5 Annex C.B – только вариант EU-64.

**Рисунок 5.16** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex C.B и Annex M)

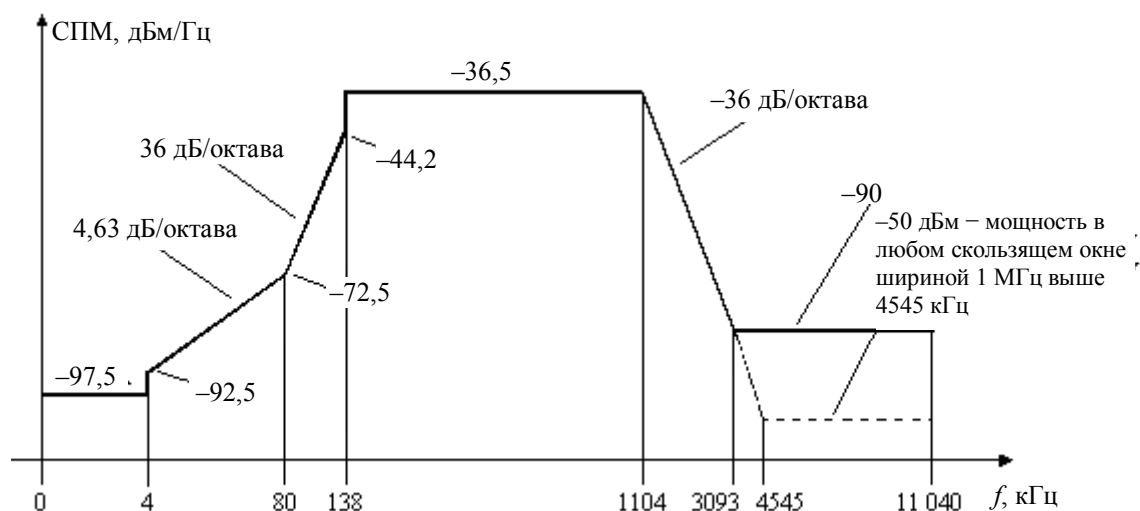
**Таблица 5.3** – Параметры семейства масок СПМ сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex C.B)

Номер маски для восходящего потока	Указатель	Номинальная СПМ	Макс. суммарная мощность передачи (дБм)	Пиковая СПМ внутри полосы (дБм/Гц)	Частота $f_1$ (кГц)	Частота пересечения $f_{\text{пер}}$ (кГц)	СПМ на частоте пересечения СПМ_пер (дБм/Гц)
1	EU-32	- 38,0	12,5	- 34,5	138,00	242,92	- 93,2
2	EU-36	- 38,5	12,62	- 35,0	155,25	274,00	- 94,0
3	EU-40	- 39,0	12,66	- 35,5	172,50	305,16	- 94,7
4	EU-44	- 39,4	12,75	- 35,9	189,75	336,40	- 95,4
5	EU-48	- 39,8	12,78	- 36,3	207,00	367,69	- 95,9
6	EU-52	- 40,1	12,87	- 36,6	224,25	399,04	- 96,5
7	EU-56	- 40,4	12,94	- 36,9	241,50	430,45	- 97,0
8	EU-60	- 40,7	12,97	- 37,2	258,75	461,90	-97,4
9	EU-64	- 41,0	12,98	- 37,5	276,00	493,41	-97,9



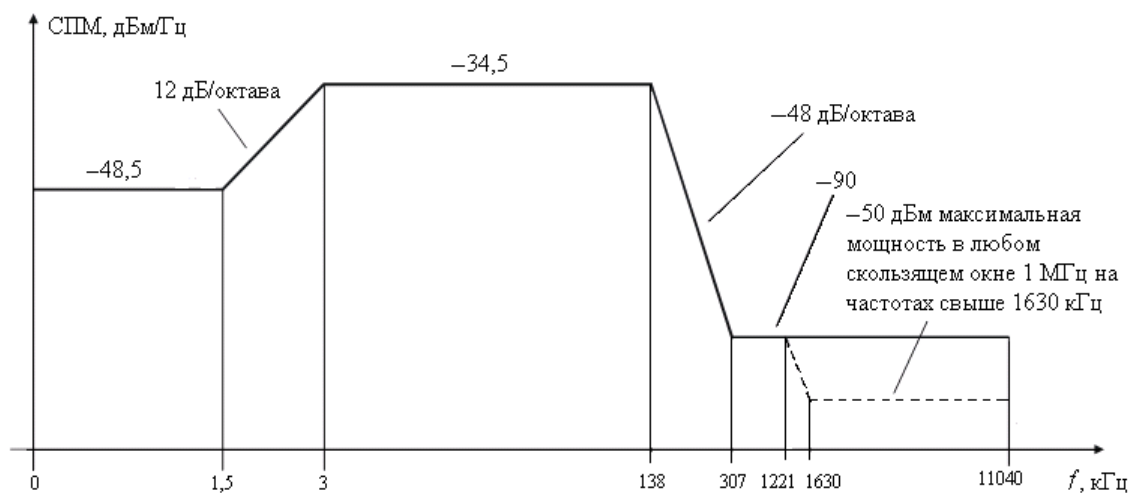
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.17** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 Annex I) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема



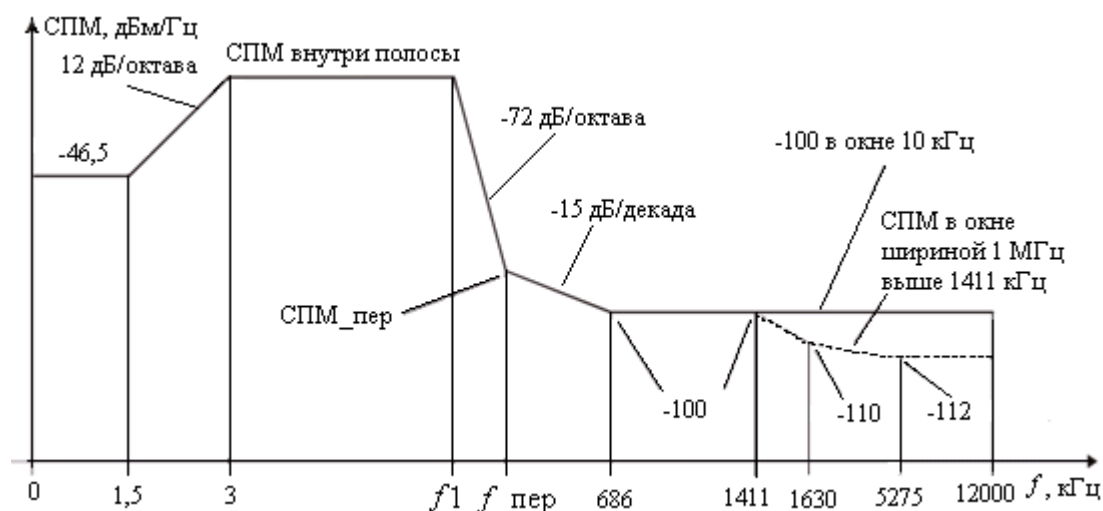
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.18** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 Annex I) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

**Рисунок 5.19** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex I)



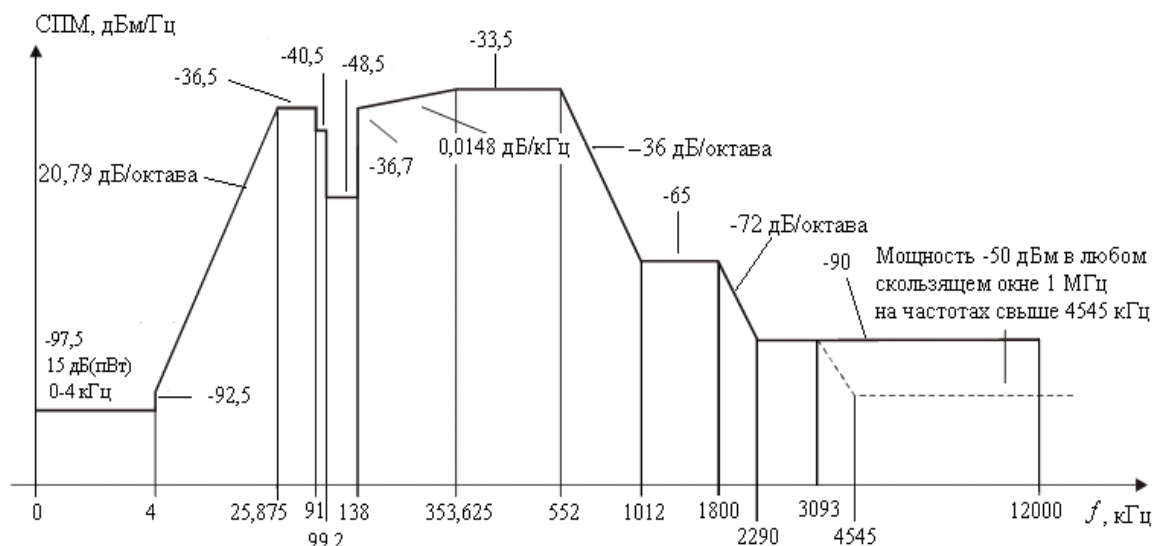
**Примечание.** Значения неопределенных на рисунке параметров маски определены в табл. 5.4.

**Рисунок 5.20** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex J)

**Таблица 5.4** – Параметры семейства масок СПМ сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex J). Максимальная суммарная мощность передачи составляет 13,4 дБм

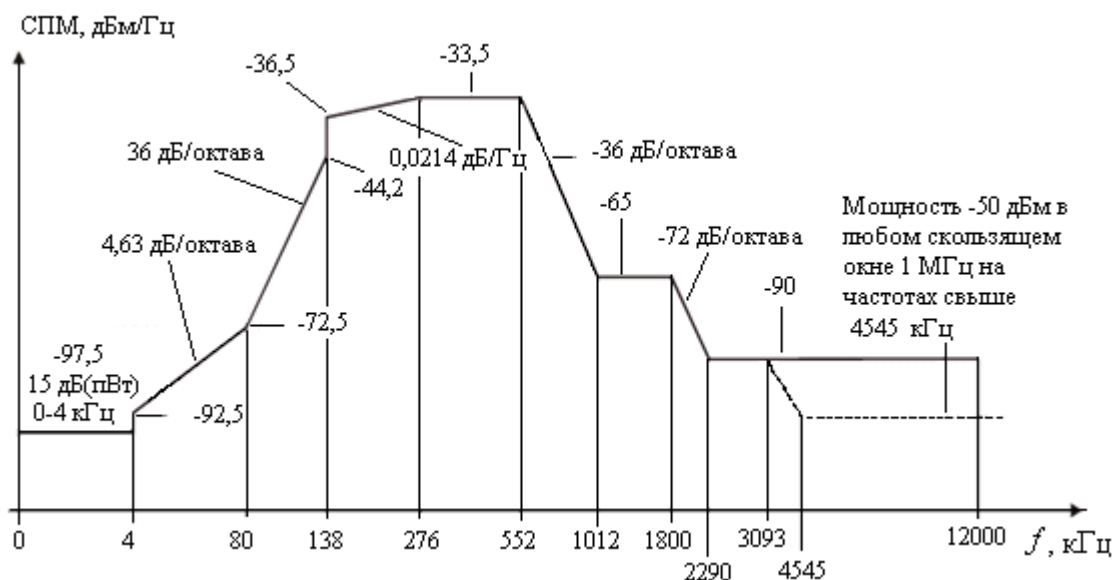
Номер маски для восходящего потока	Указатель	Номинальная СПМ	Максимальная суммарная мощность передачи (дБм)	Пиковая СПМ внутри полосы (дБм/Гц)	Частота $f_1$ (кГц)	Частота пересечения $f_{\text{пер}}$ (кГц)	СПМ на частоте пересечения СПМ <sub>пер</sub> (дБм/Гц)
1	ADLU-32	- 38,0	13,4	- 34,5	138,00	242,92	- 93,2
2	ADLU-36	- 38,5	13,4	- 35,0	155,25	274,00	- 94,0
3	ADLU-40	- 39,0	13,4	- 35,5	172,50	305,16	- 94,7
4	ADLU-44	- 39,4	13,4	- 35,9	189,75	336,40	- 95,4
5	ADLU-48	- 39,8	13,4	- 36,3	207,00	367,69	- 95,9
6	ADLU-52	- 40,1	13,4	- 36,6	224,25	399,04	- 96,5
7	ADLU-56	- 40,4	13,4	- 36,9	241,50	430,45	- 97,0
8	ADLU-60	- 40,7	13,4	- 37,2	258,75	461,90	-97,4
9	ADLU-64	- 41,0	13,4	- 37,5	276,00	493,41	-97,9





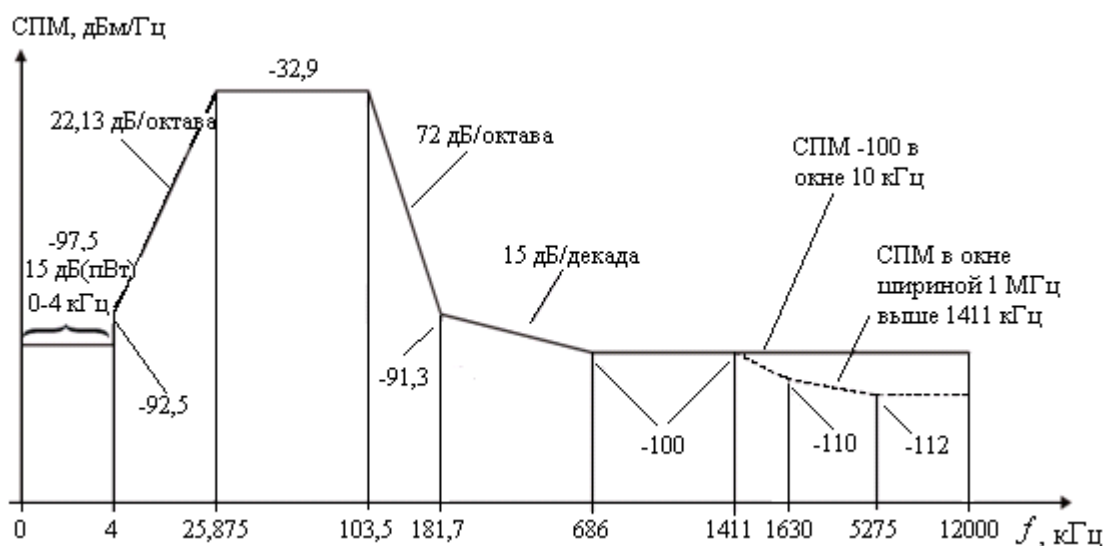
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.21** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 Annex L) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема

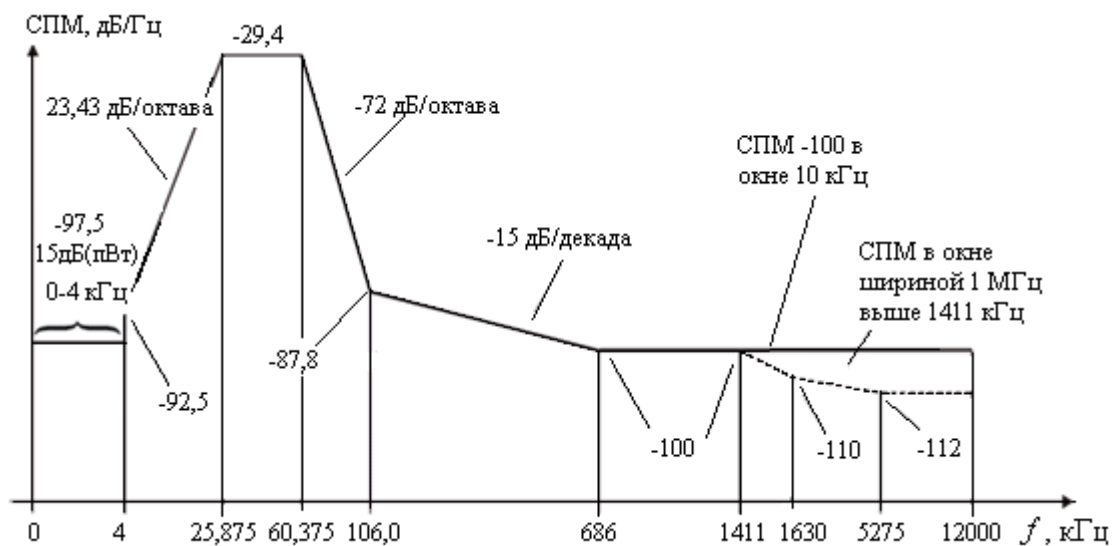


**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $(f+1)$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

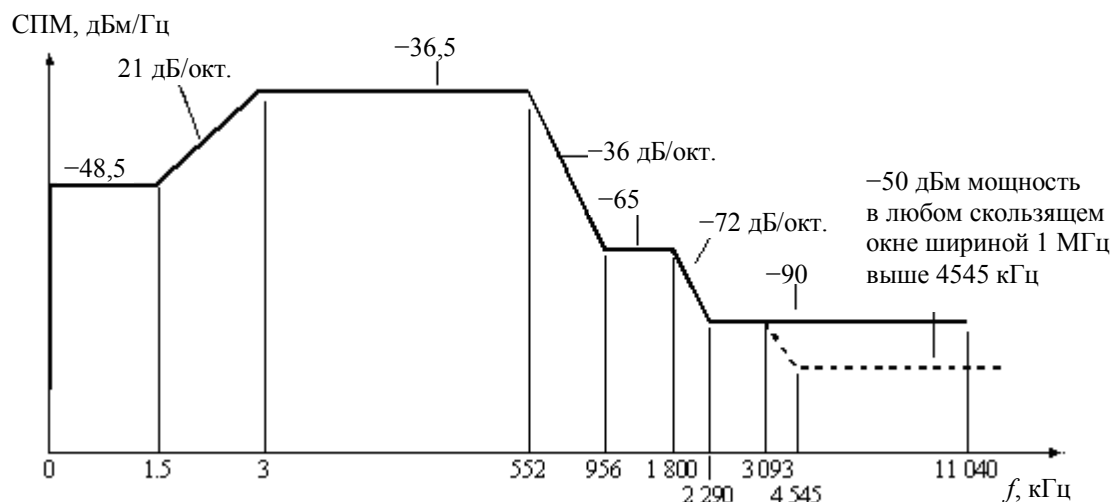
**Рисунок 5.22** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.3 Annex L) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



**Рисунок 5.23** – Маска 1 спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex L)

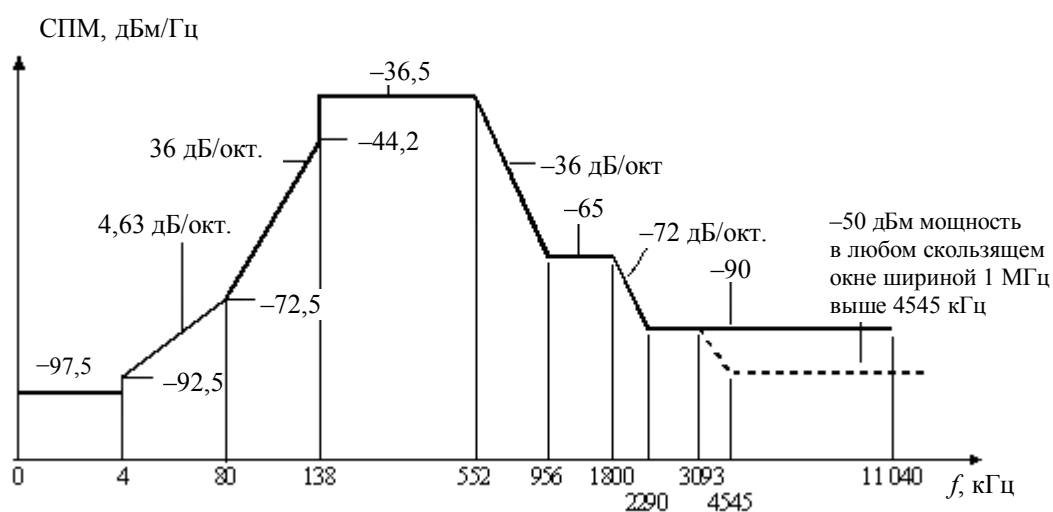


**Рисунок 5.24** – Маска 2 спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.3 Annex L)



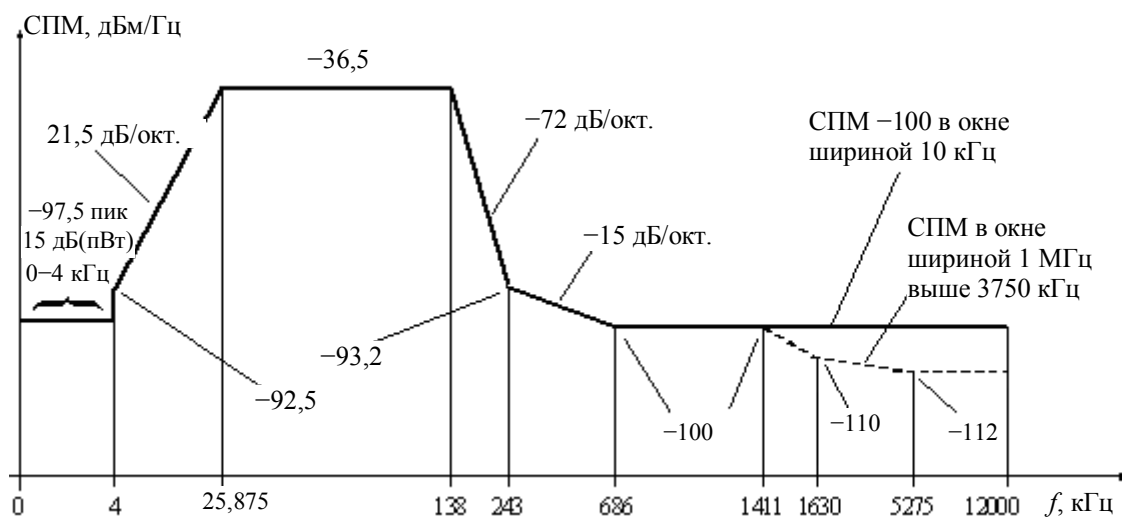
**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.25** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.4 Annex I) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема

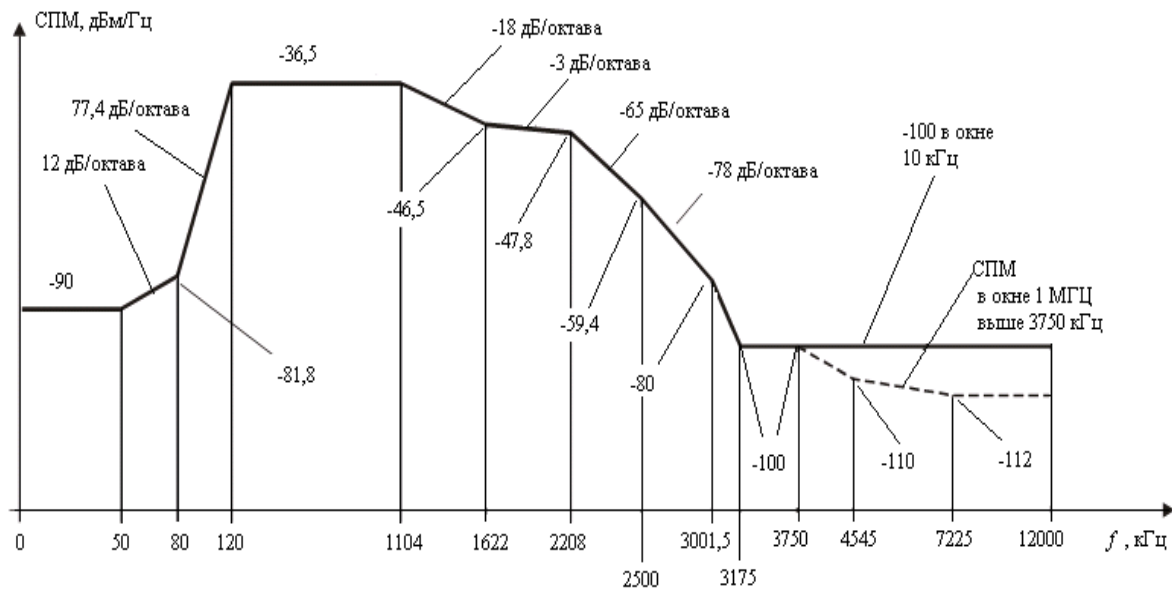


**Примечание.** Штриховой линией изображен график зависимости от частоты суммарной мощности в скользящем окне шириной 1 МГц в диапазоне от  $f$  МГц до  $f+1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

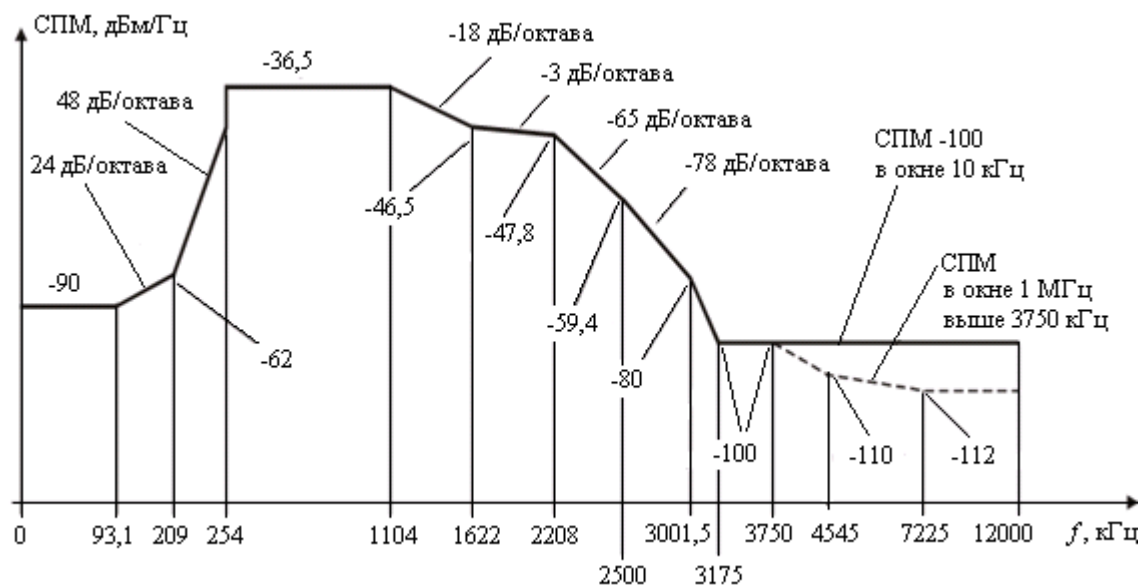
**Рисунок 5.26** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.4 Annex I) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



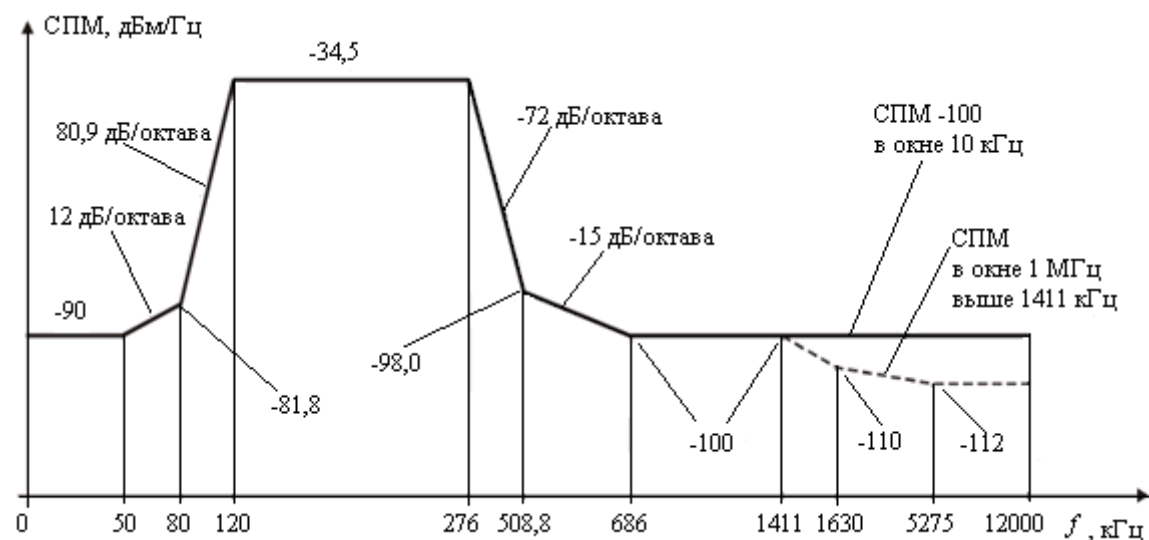
**Рисунок 5.27** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.5 Annex A)



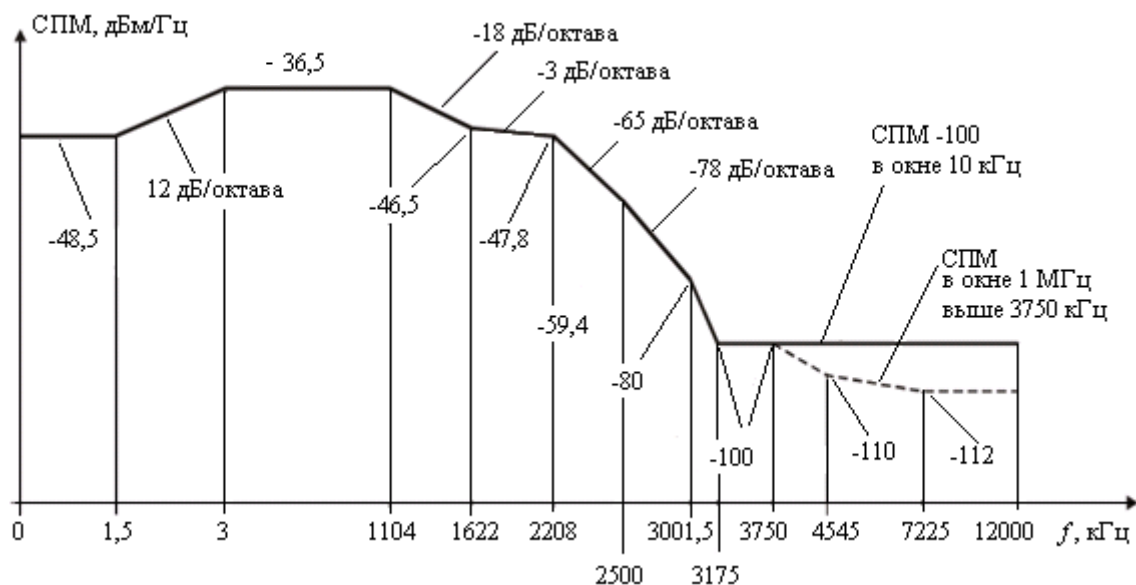
**Рисунок 5.28** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.5 Annex B) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема



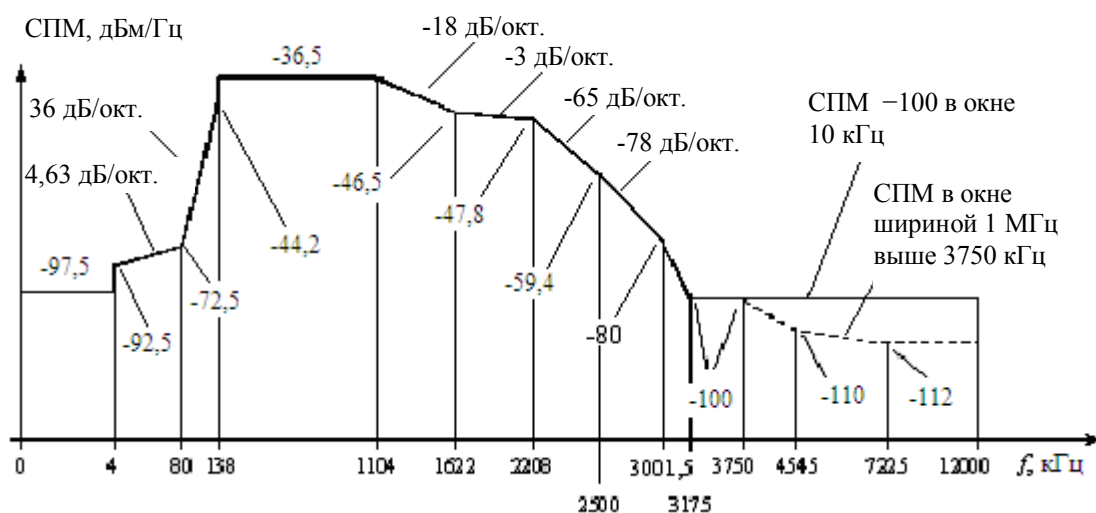
**Рисунок 5.29** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.5 Annex B) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



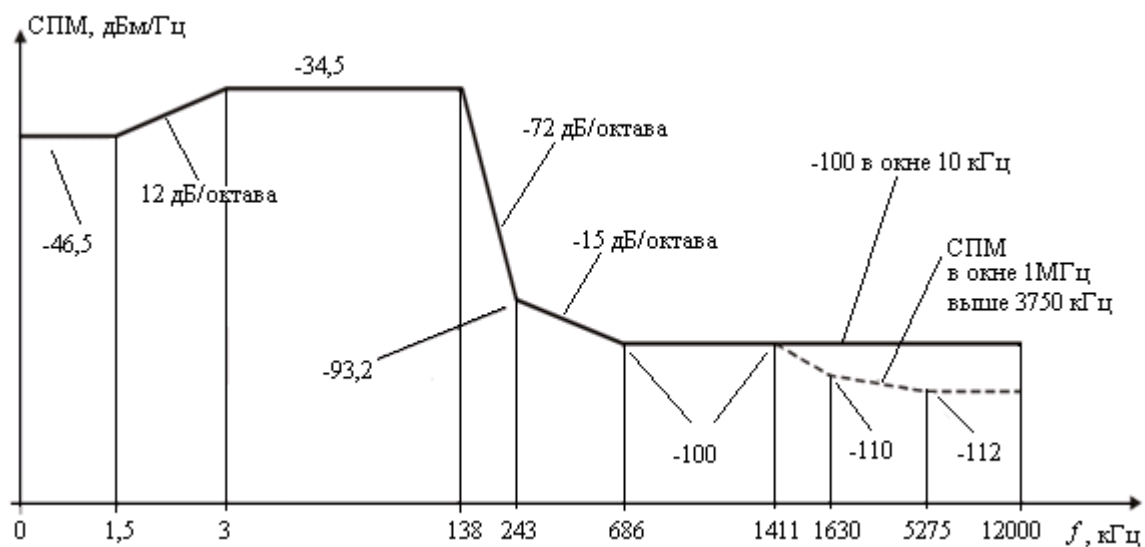
**Рисунок 5.30** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.5 Annex B)



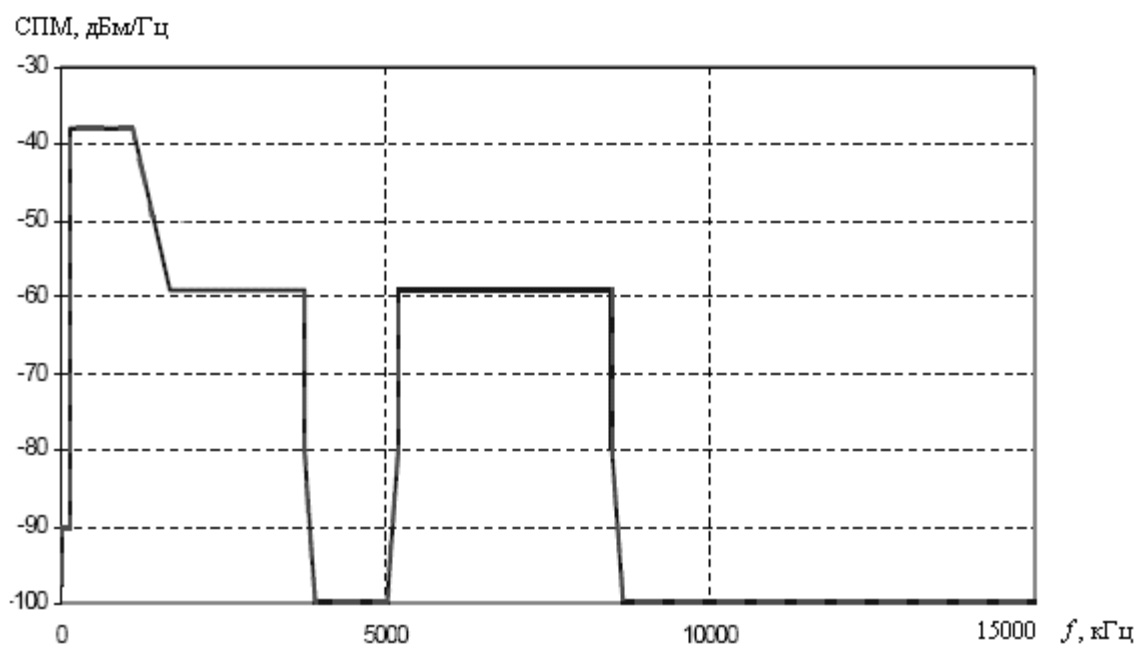
**Рисунок 5.31** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.5 Annex I) в режиме с перекрытием спектров передачи и приема



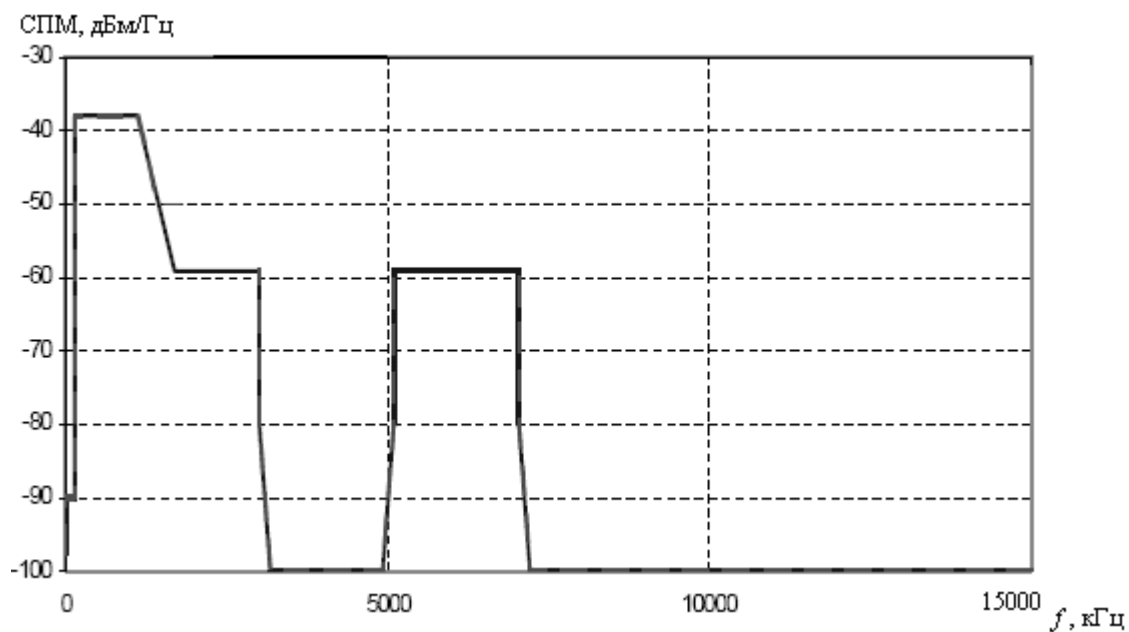
**Рисунок 5.32** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-C (G.992.5 Annex I) в режиме без перекрытия спектров передачи и приема



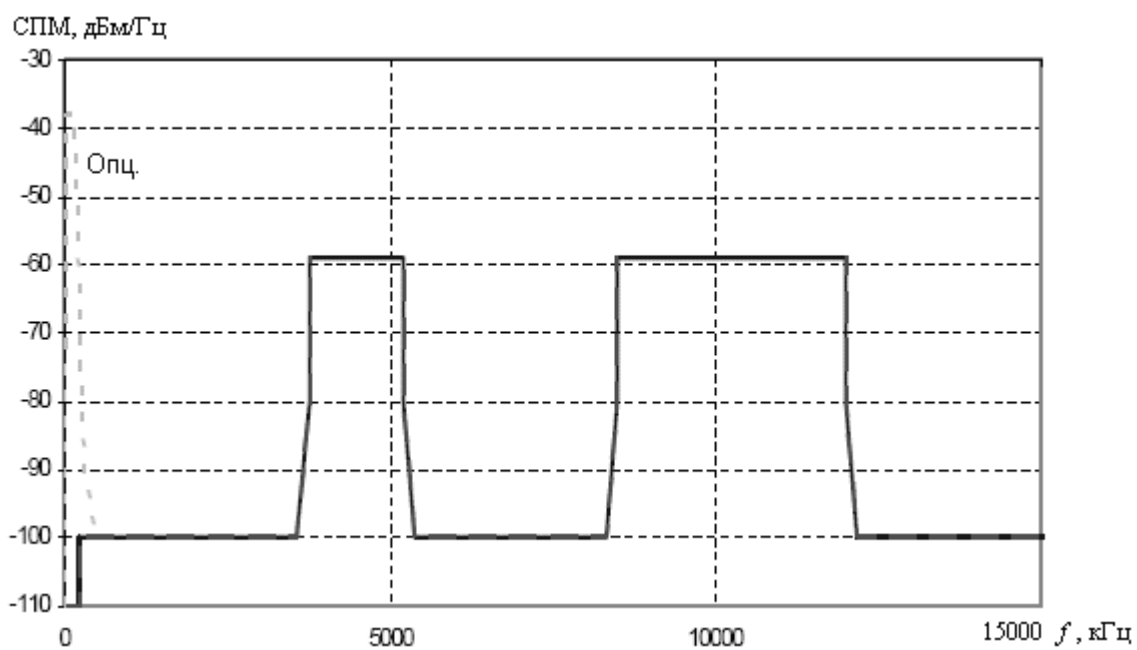
**Рисунок 5.33** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика ATU-R (G.992.5 Annex I)



**Рисунок 5.34** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-O (G.993.1) для плана частот А (вариант FTTEh)

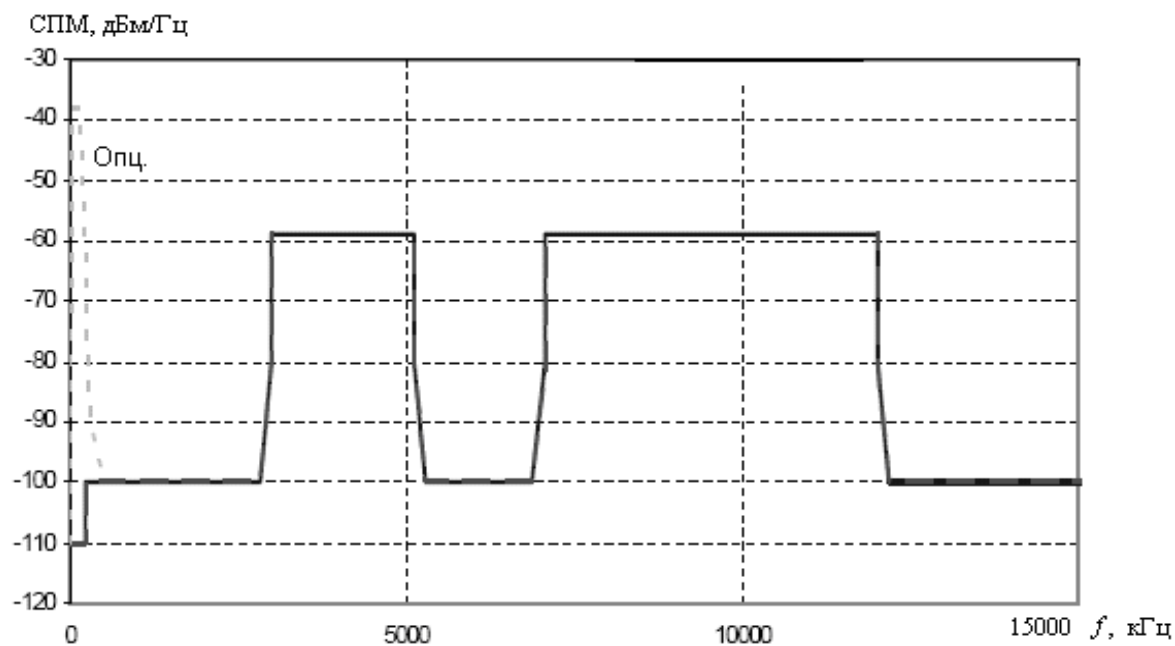


**Рисунок 5.35** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-O (G.993.1) для плана частот В (вариант FTTEх)

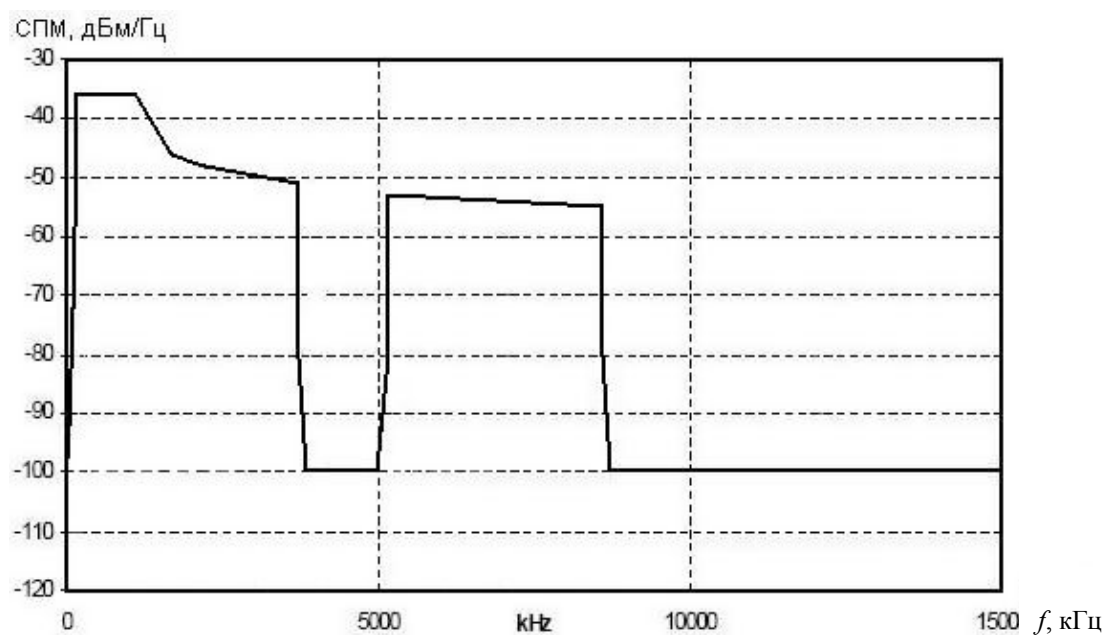


**Рисунок 5.36** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-R (G.993.1) для плана частот А

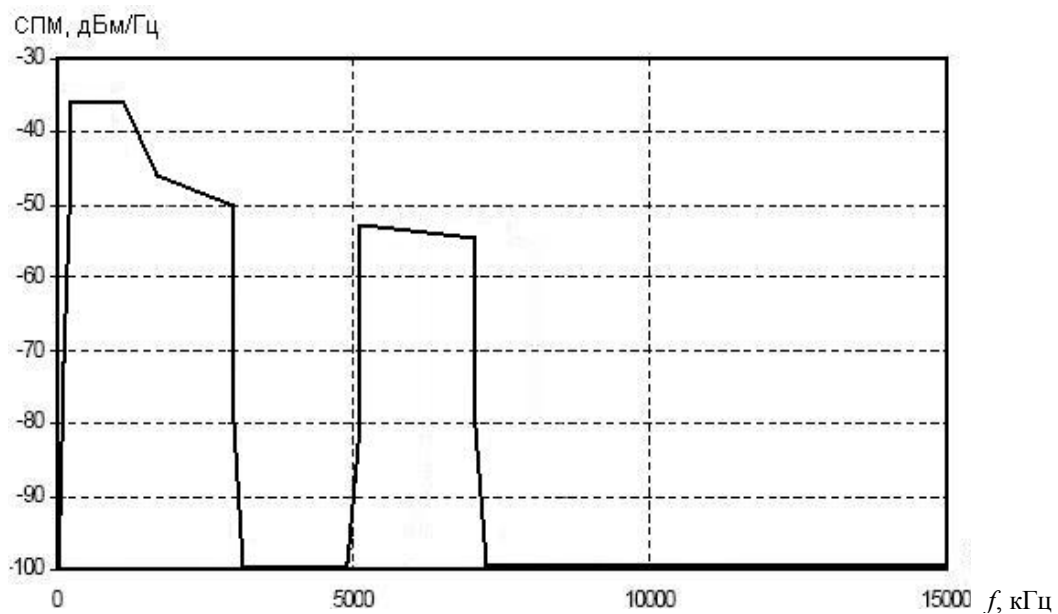




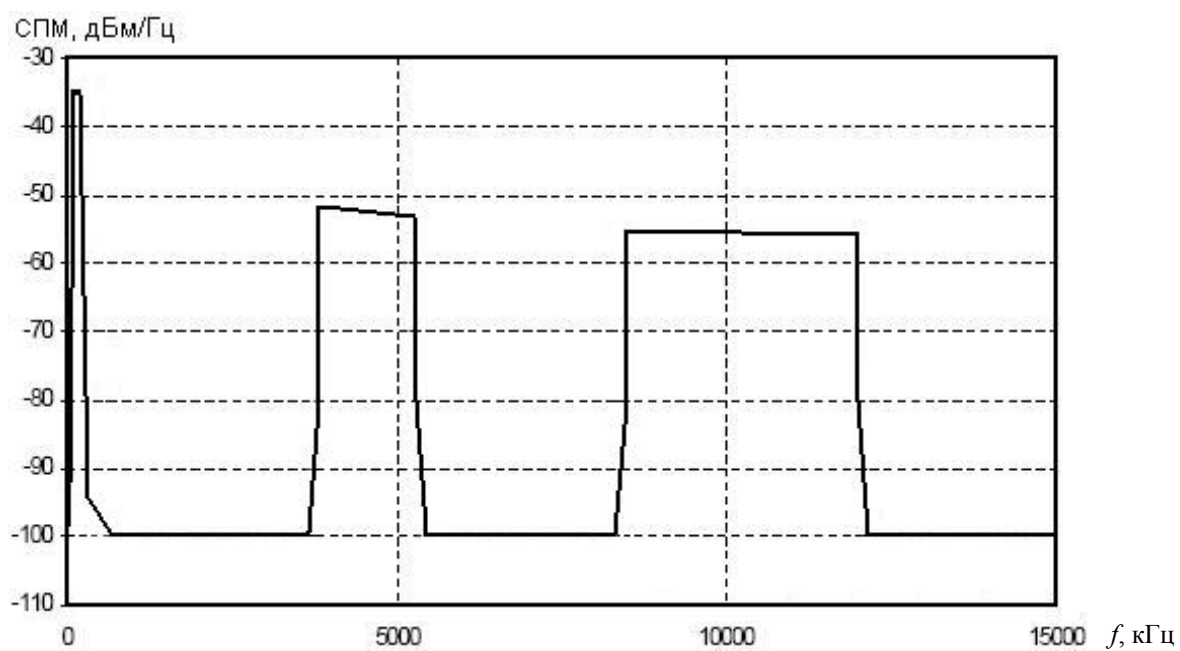
**Рисунок 5.37** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-R (G.993.1) для плана частот В



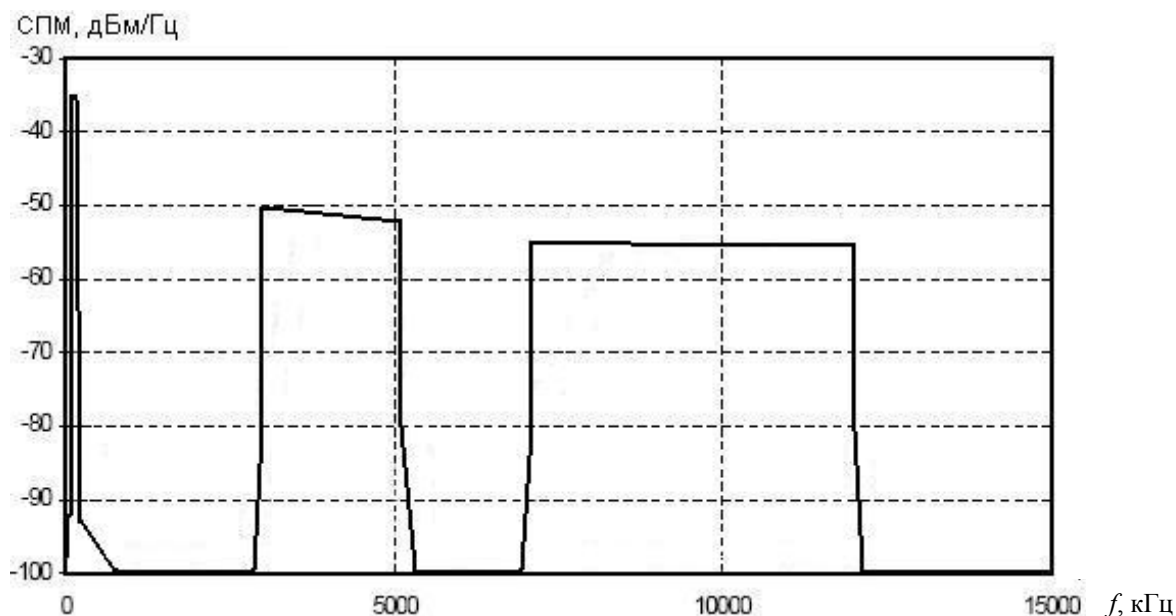
**Рисунок 5.38** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-O (G.993.2) для плана частот А (вариант 998-M2x-A)



**Рисунок 5.39** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-O (G.993.2) для плана частот В (вариант 997-M2х-A)



**Рисунок 5.40** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-R (G.993.2) для плана частот А (вариант 998-M2х-A)



**Рисунок 5.41** – Маска спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика VTU-R (G.993.2) для плана частот В (вариант 998-M2х-А)

## 5.4 Методы измерения параметров интерфейсов xDSL

### *Измерение мощности и спектральной плотности мощности передаваемого сигнала*

Измерения мощности передаваемого сигнала проводятся высокоомным широкополосным измерителем уровня, подключенным параллельно нагрузочному сопротивлению 100 Ом (для ADSL) или 135 Ом (для SHDSL, VDSL).

Спектральную плотность мощности передаваемого сигнала измеряют с помощью высокоомного селективного измерителя уровня, подключенного параллельно нагрузочному сопротивлению. Поскольку допустимые спектральные плотности указаны в дБм на 1 Гц полосы частот, то при определении результата измерения необходимо вносить исправления с учётом ширины полосы пропускания селективного измерителя уровня. Если ширина полосы пропускания селективного измерителя уровня равняется  $X$  Гц, то результаты измерений должны быть уменьшены в  $X$  раз по мощности или на  $10\lg(X)$  дБм по уровню.

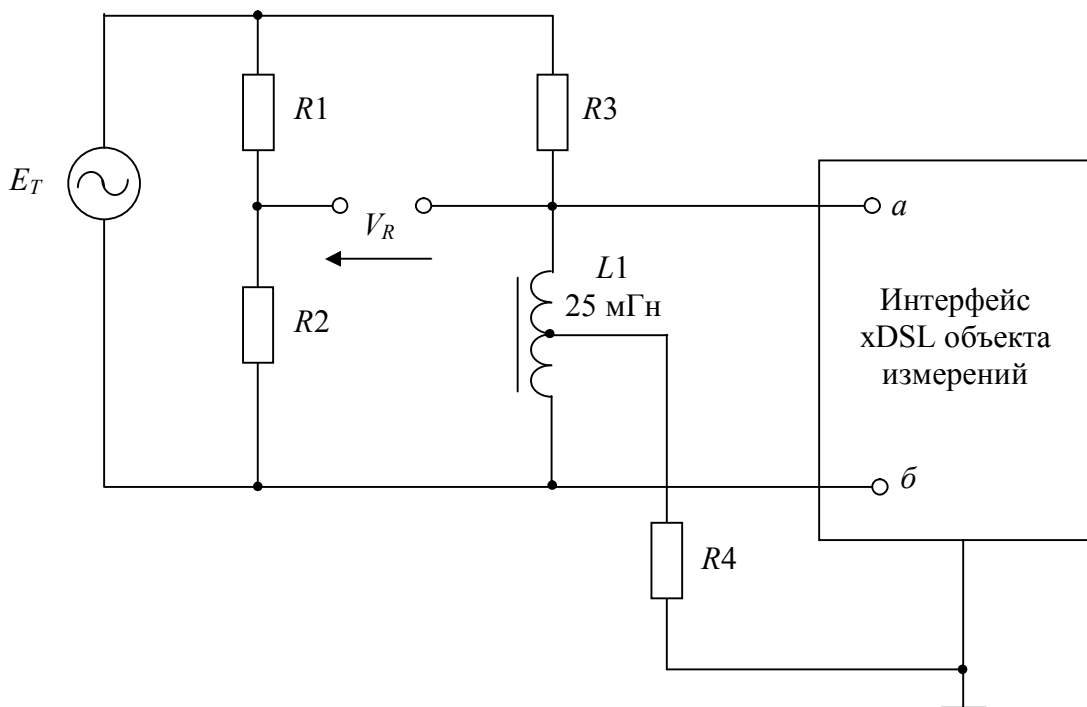
Измеренные значения мощности и спектральной плотности мощности передаваемого сигнала должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. 5.2.

### *Определение затухания несогласованности*

Затухание несогласованности (или затухание отражения) интерфейса – параметр, который характеризует степень несогласованности нагрузочного сопротивления с входным сопротивлением измеряемого интерфейса. Отличие нагрузочного сопротивления от входного сопротивления интерфейса приводит к

тому, что определенная часть энергии электрического сигнала, поступающего на вход интерфейса, отражается, образуя отраженный сигнал. Определяется затухание несогласованности как 20 десятичных логарифмов отношения приложенного к интерфейсу напряжения к отраженному напряжению. Также затухание несогласованности можно определить как 20 десятичных логарифмов отношения модуля суммы нагрузочного сопротивления и входного сопротивления интерфейса к модулю разности этих сопротивлений.

Затухание несогласованности на выходе линейного стыка xDSL относительно номинального нагрузочного сопротивления определяется при помощи схемы, показанной на рисунке 5.42. Сопротивление  $R1 = R2$  может быть выбрано любым из ряда номинальных сопротивлений. Сопротивление  $R3$  равняется  $135 \text{ Ом} \pm 1 \%$  (для SHDSL и VDSL) или  $100 \text{ Ом} \pm 1 \%$  (для ADSL), а сопротивление  $R4$  равно  $0,25R3$ .



**Рисунок 5.42** – Определение затухания несогласованности

Значение затухания несогласованности  $A_{нс}$ , дБ, вычисляется по формуле:

$$A_{ны} = 20 \lg \left| \frac{E_T}{2V_R} \right| = 20 \lg \left| \frac{E_T}{\sqrt{0,6}} \right| - 20 \lg \left| \frac{V_R}{\sqrt{0,6}} \right| - 20 \lg 2 = p_{E_T} - p_{V_R} - 6, \quad (5.1)$$

где  $E_T$  – прямое напряжение;  
 $V_R$  – отраженное напряжение;  
 $p_{E_T}$  – уровень прямого напряжения;  
 $p_{V_R}$  – уровень отраженного напряжения.

Установленные значения затухания несогласованности должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. 5.2.

Объясним приведенную схему.

Отсутствию отраженной волны соответствует ситуация, когда входное сопротивление интерфейса xDSL, т.е. сопротивление между клеммами  $a$  и  $b$  объекта измерения, равняется нагрузочному сопротивлению  $R_3$ . В этом случае напряжение между этими клеммами равняется  $E_T/2$ . Поскольку  $R_1 = R_2$ , то напряжение  $V_R$  равняется нулю. Чем больше несогласованность между нагрузочным сопротивлением и входным сопротивлением интерфейса xDSL, тем больше значение напряжения  $V_R$  и, соответственно, меньше затухание несогласованности.

### **Определение затухания асимметрии**

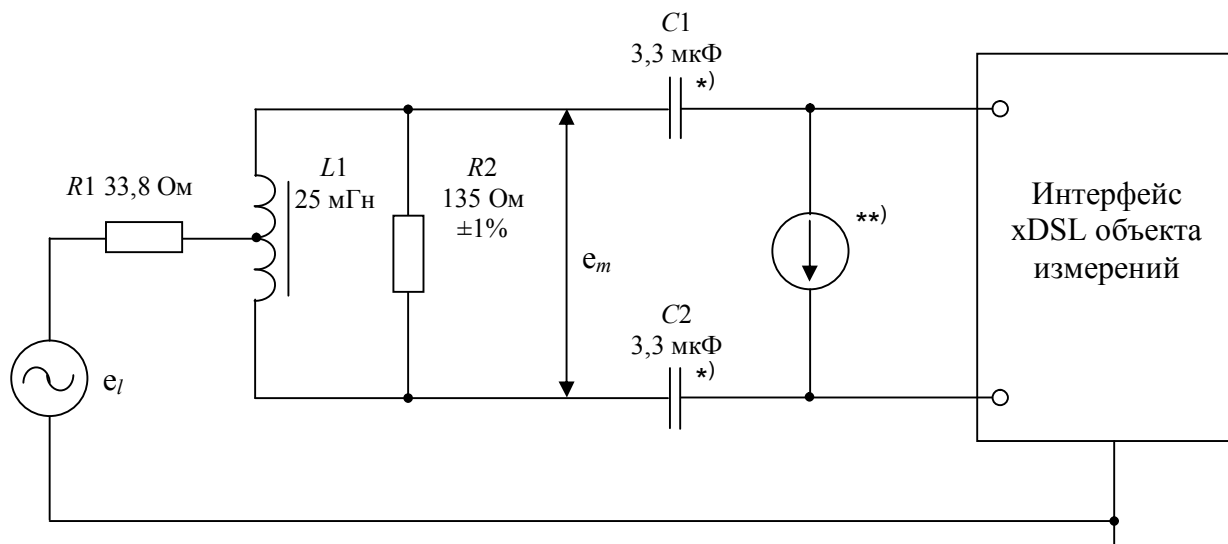
Затухание асимметрии характеризует степень симметрии цепи относительно земли. Затухание асимметрии определяется как 20 десятичных логарифмов отношения напряжения на выходе генератора, подключенного между средней точкой на входе рабочей пары и землей (экраном), к напряжению, полученному между средней точкой на выходе рабочей пары и землей (экраном). Чем больше асимметричность цепи относительно земли, тем более чувствительна эта цепь к помехам, т.е. при одном и том же напряжении электромагнитного поля помеха, которая «наводится» в цепи, становится большей.

Для SHDSL затухание асимметрии определяют согласно рис. 5.42,  $a$ ,  $b$ .

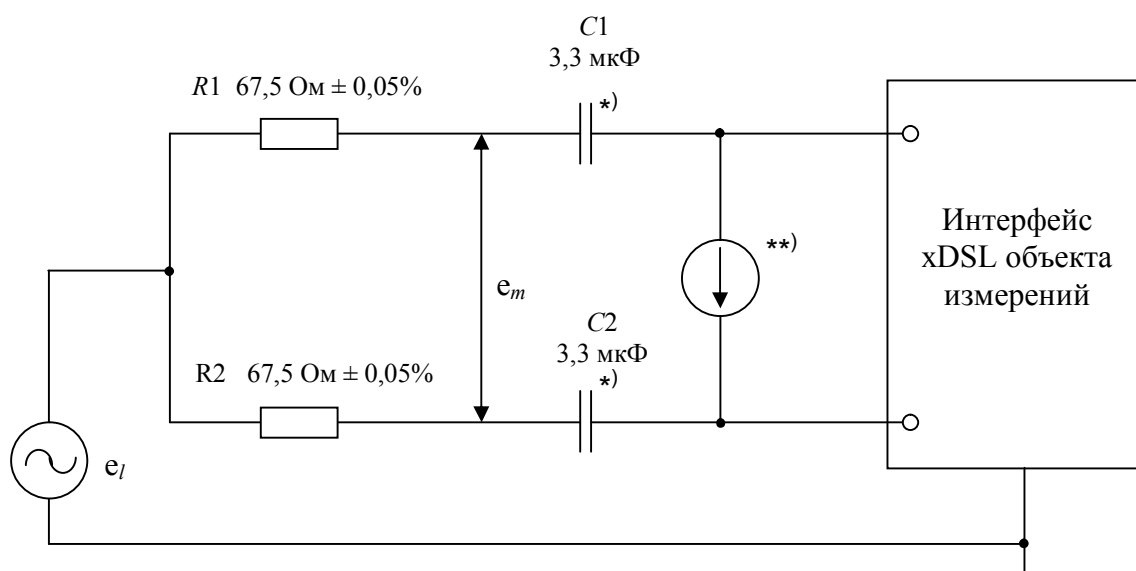
Для ADSL затухание асимметрии определяют согласно рис. 5.43,  $a$ ,  $b$ , а для VDSL – согласно рекомендациям МСЭ-Т G.117 и O.9.

Значения затухания асимметрии должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. 5.2.

Дадим объяснение этим схемам. Напряжение генератора прилагается к средней точке цепи, в состав которой входит интерфейс xDSL (объект измерений). Если цепь внутри объекта измерений является несимметричной относительно земли, то между точками  $a$  и  $b$ , принадлежащими одинаковым относительно земли фрагментам измерительной схемы, образуется определенное напряжение  $e_m$ . Чем больше это напряжение, тем меньше затухание асимметрии. В идеальном случае, если внутренняя схема объекта измерений полностью симметрична относительно земли, то  $e_m$  равняется нулю и затухание асимметрии равно бесконечности.



а)



б)

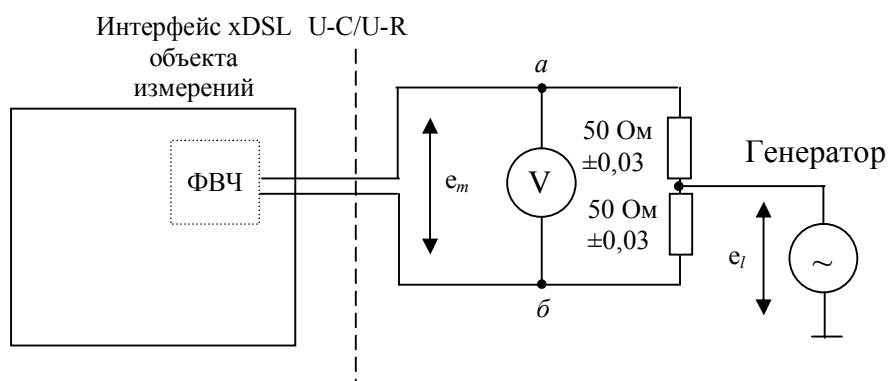
\*) применяются при наличии дистанционного питания.

\*\*) применяются при наличии дистанционного питания: при тестировании абонентского оборудования – источник постоянного напряжения; при тестировании станционного оборудования – нагрузка по постоянному току.

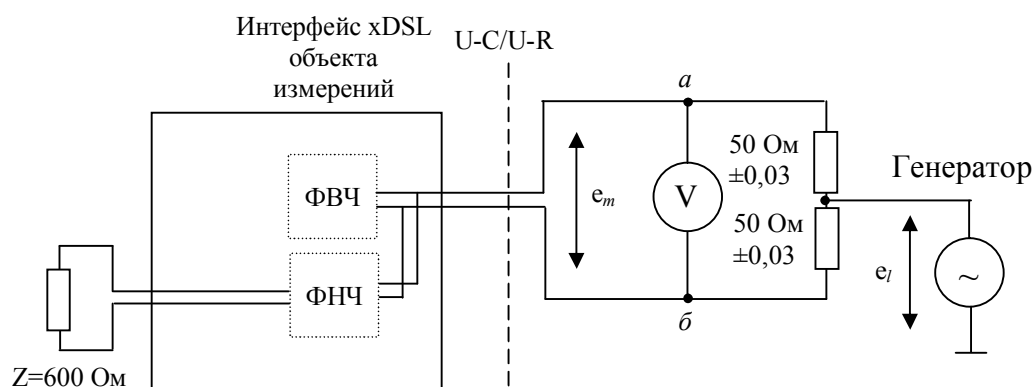
**Рисунок 5.43** – Определение затухания асимметрии для SHDSL:

а) – схема с применением дросселя;

б) – схема с применением резисторов



а) – Схема для случая, когда высокочастотная часть сплиттера (ФВЧ) интегрирована в ADSL-модем



б) – схема для случая, когда сплиттер полностью интегрирован в ADSL-модем

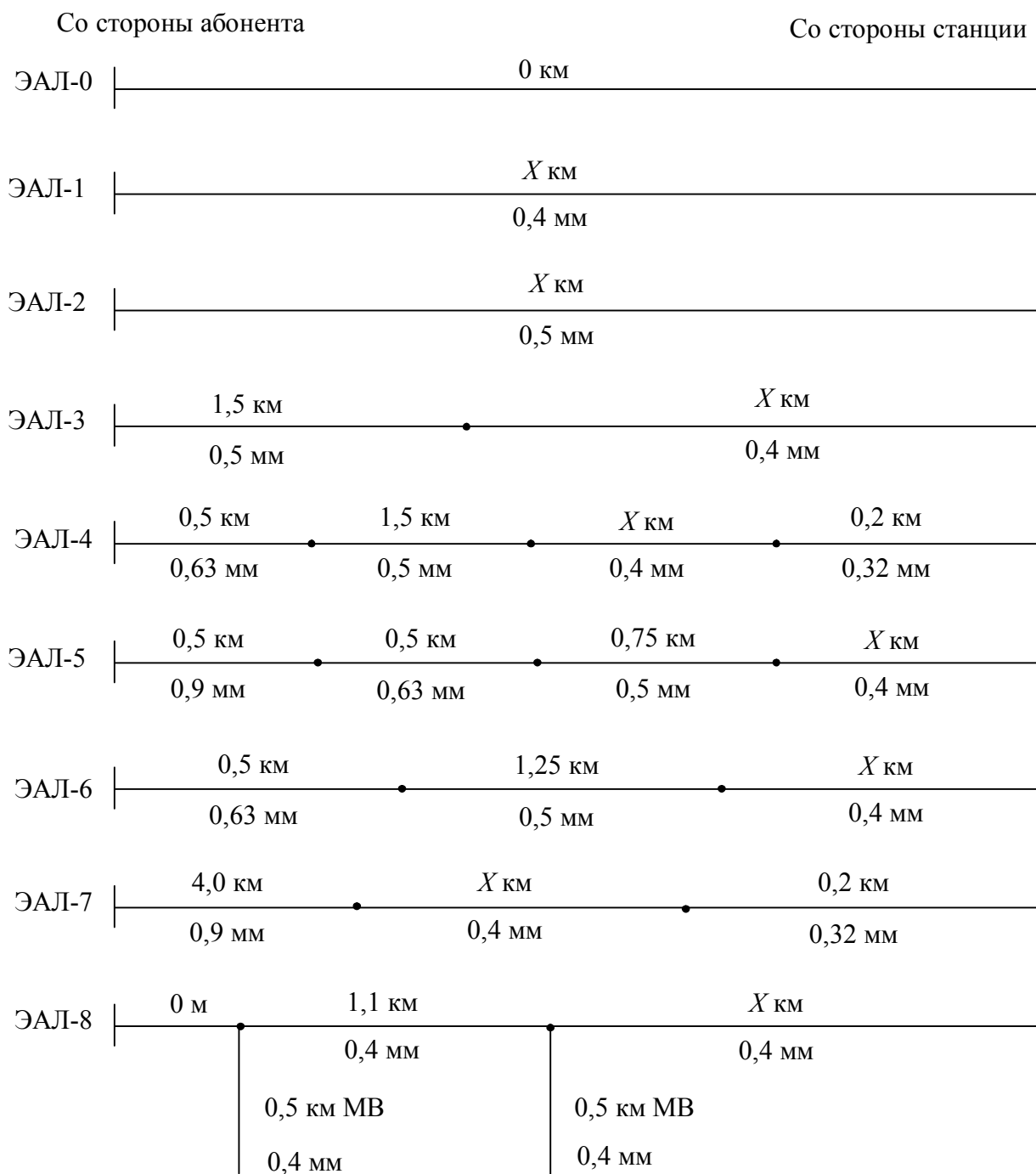
**Рисунок 5.44** – Определение затухания асимметрии для ADSL

Затухание асимметрии  $A_{ac}$ , дБ, вычисляют по формуле:

$$A_{ac} = 20 \lg \left| \frac{e_l}{e_m} \right|. \quad (5.2)$$

**Тестирование скорости передачи по эталонным абонентским линиям.**

Для тестирования скорости передачи оборудования xDSL-доступа (xDSL-модема и DSLAM) применяются эталонные абонентские линии (ЭАЛ) [40]. Варианты европейских ЭАЛ приведены на рис. 5.45. В табл. 5.5 приведены номинальные значения составляющей «X» длины ЭАЛ.



**Примечание.**

1 Все кабели имеют полиэтиленовую изоляцию жил

2 МО – мостовое ответвление – параллельно подключенный отрезок ненагруженного на конце кабеля.

**Рисунок 5.45** – Европейские модели эталонных абонентских линий



**Таблица 5.5** – Номинальные значения составляющей «X» длин европейских ЭАЛ

Номер ЭАЛ	Номинальное значение длины «X», км, при затухании ЭАЛ на частоте 300 кГц		
	36 дБ	51 дБ	61 дБ
1	2,55	3,6	4,3
2	3,4	4,8	5,7
3	1,4	2,45	3,15
4	0,9	1,9	2,65
5	1,45	2,5	3,2
6	1,3	2,35	3,05
7	0,6	1,6	2,2
8	0,75	1,8	2,5

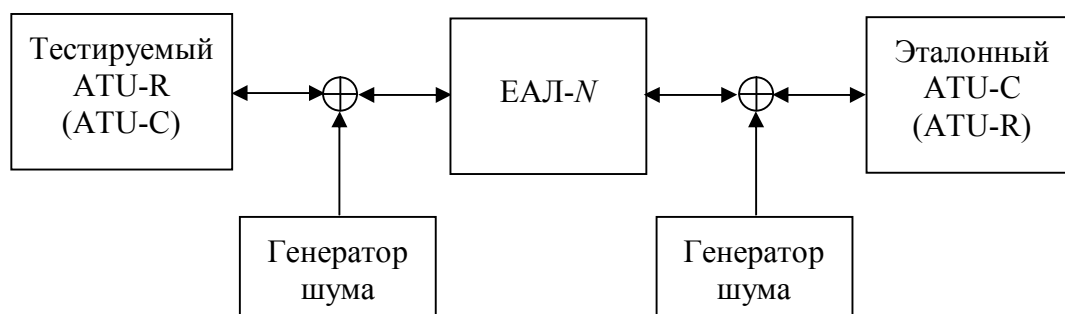
Тестирование скорости передачи по ЭАЛ проводится в соответствии со схемой рис. 5.46 на ЭАЛ- $N$ ,  $N = 0 - 8$ . Генераторы шума (рис. 5.46) вводят на входы приемников оборудования шум с характеристикой ETSI A, ETSI B, Euro-K или аддитивный белый гауссовый шум (AWGN-140) со спектральной плотностью мощности минус 140 дБм/Гц (параметры четырех видов шумов приведены на рис. 5.47 и в табл. 5.6 – 5.8).

**Примечание.** В модель шума ETSI A входят частоты 99; 207; 333; 387; 531; 603; 711; 801; 909 и 981 кГц, на которых происходит влияние радиосигналов на цепи кабелей. Мощность шума на каждой из этих частот не должна превышать минус 70 дБм.

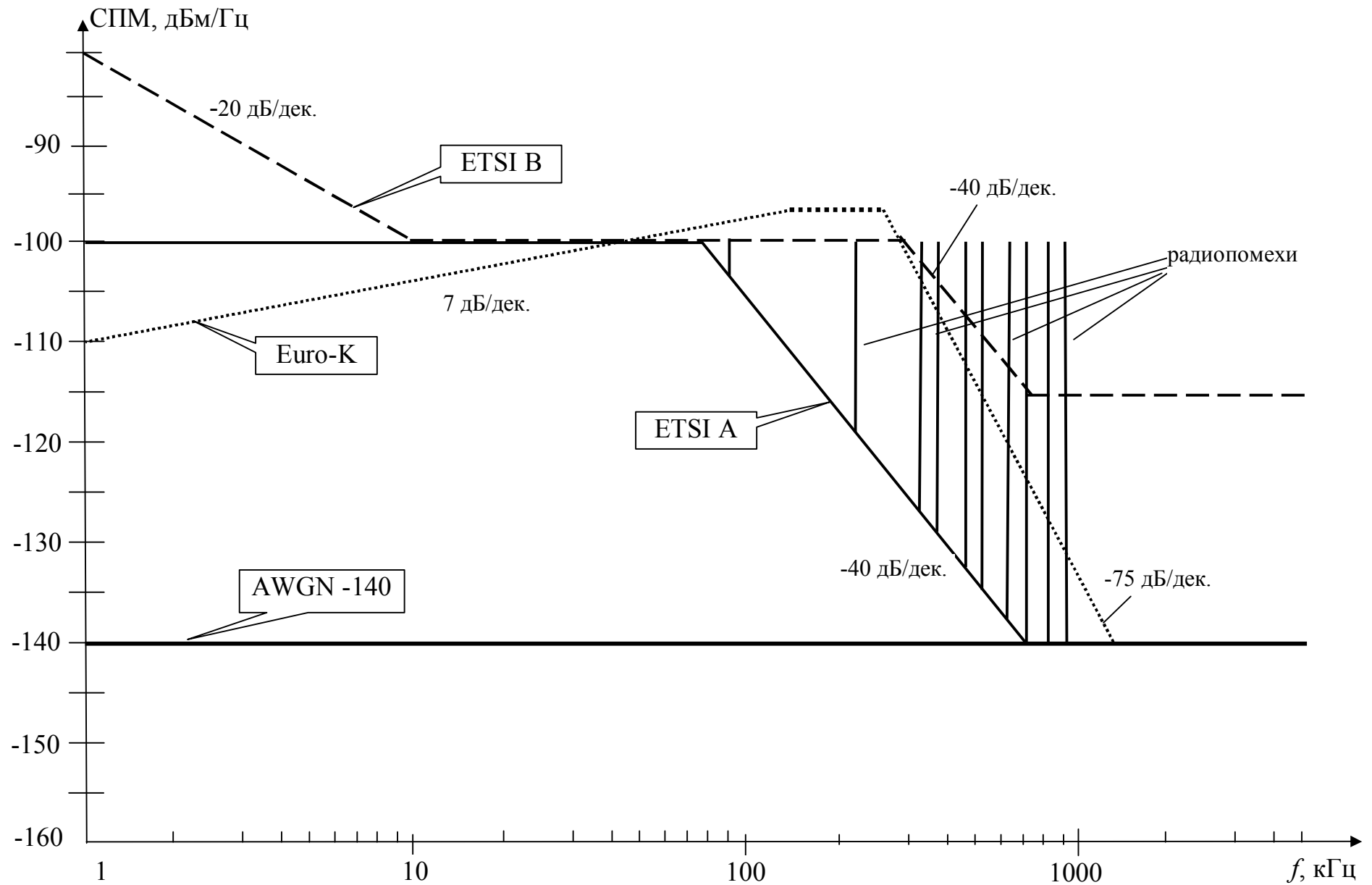
Мощность шума в диапазоне частот от 1 кГц до 1,5 МГц для модели ETSI A не должна превышать минус  $49,4 \pm 0,5$  дБм, а для модели шума ETSI B – минус  $43 \pm 0,5$  дБм. Погрешность измерения спектральной плотности мощности шума в диапазоне частот от 1 кГц до 1,5 МГц не должна превышать  $\pm 1$  дБ при применении измерительного прибора с полосой пропускания 1 кГц.

При тестировании контролируется скорость передачи информации по xDSL-линии (с обеспечением вероятности ошибки не больше  $10^{-7}$ ).

Скорость передачи данных системы ADSL должна быть не меньше указанной в табл. 5.9 (с учетом запаса помехозащищённости 6 дБ).



**Рисунок 5.46** – Тестирование оборудования xDSL-доступа



**Рисунок 5.47** – Зависимость спектральной плотности мощности от частоты для четырех моделей шума

**Таблица 5.6** – Зависимость спектральной плотности мощности шума ETSI A от частоты

Частота, кГц	Спектральная плотность мощности, дБм/Гц
1	-100
79,5	-100
795	-140
1500	-140

**Примечание.**  
1 В диапазоне частот от 79,5 кГц до 795 кГц спектральная плотность мощности шума уменьшается на величину минус 40 дБ/дек.  
2 На частотах 99; 207; 333; 387; 531; 603; 711; 801; 909; 981 кГц мощность шума не должна превышать минус 70 дБм.

**Таблица 5.7** – Зависимость спектральной плотности мощности шума ETSI B от частоты

Частота, кГц	Спектральная плотность мощности, дБм/Гц
1	-80
10	-100
300	-100
711	-115
1500	-115

**Примечание.**  
1 В диапазоне частот от 1 кГц до 10 кГц спектральная плотность мощности уменьшается на величину минус 20 дБ/дек.  
2 В диапазоне частот от 300 кГц до 711 кГц спектральная плотность мощности шума уменьшается на величину минус 40 дБ/дек.

**Таблица 5.8** – Зависимость спектральной плотности мощности шума Euro-K от частоты

Частота, кГц	Спектральная плотность мощности, дБм/Гц
1	-110
135	-94
260	-94
1060	-140
1500	-140

**Примечание.**  
1 В диапазоне частот от 135 кГц до 1 кГц спектральная плотность мощности уменьшается на величину 7 дБ/дек.  
2 В диапазоне частот от 260 кГц до 1060 кГц спектральная плотность мощности шума уменьшается на величину минус 75 дБ/дек.

**Таблица 5.9** – Нормированная скорость передачи данных системы ADSL для разных моделей шума и параметров европейских ЭАЛ

Номер ЭАЛ	Затухание ЭАЛ, дБ, на частоте 300 кГц	Номинальная длина «X», км	Скорость передачи, кбит/с, в направлении		Модель шума на входе АЛ	
			нисходящем	восходящем	со стороны станции	со стороны абонента
0	0	0	6144	640	шум отсутствует	шум отсутствует
1	40	2,8	4096	320	Euro-K	ETSI-A
1	50	3,5	2048	128	Euro-K	ETSI-A
1	20	1,4	6144	640	ETSI-B	ETSI-B
1	30	2,15	2048	512	ETSI-B	ETSI-B
1	60	4,2	576	128	ETSI-A	ETSI-A
1	60	4,2	1536	256	AWGN -140	AWGN -140

### **Вопросы для закрепления**

1. Какие варианты СП ADSL регламентированы МСЭ-Т? Их основные характеристики.
2. Объяснить особенности формы спектров рис. 5.1 – 5.22.
3. Как скорость передачи связана с характеристиками каналов?
4. Какими параметрами отличаются СП xDSL согласно рекомендациям G.992.1 и G.992.5?
5. Какие особенности имеет спектр СП xDSL согласно рекомендациям G.993.1 и G.993.2?
6. По каким критериям определяются маски спектральной плотности мощности, приведенные в данном разделе?

## 6 ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ПО ТЕХНОЛОГИИ SHDSL

Система передачи SHDSL (Single-pair High-speed Digital Subscriber Line – Рекомендация МСЭ-Т G.991.2 [31]) в базовом варианте использует 16-позиционную амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ) с решетчатым кодированием – 16-ТСПАМ (ТСПАМ – Trellis Coded PAM). Этот способ модуляции обеспечивает передачу четырех битов (трех битов полезной информации и дополнительного бита кодирования) на одном тактовом интервале. Использование решетчатых (trellis) кодов дает выигрыш в 5 дБ, что позволяет снизить вероятность ошибки при передаче и увеличить дальность связи. Для декодирования в приемнике используется эффективный алгоритм Витерби. Дополнительный выигрыш в СП SHDSL получен за счет применения предкодирования Томлинсона (Tomlinson) – предкоррекции сигнала в передатчике на основе знания импульсной характеристики канала. В результате применения этих алгоритмов SHDSL по сравнению с однопарным вариантом СП по технологии HDSL (Рекомендация МСЭ-Т G.991.1 [30]), использующей код 2B1Q, как показала эксплуатация, позволяет увеличить на 35 – 45% скорость передачи при той же дальности или увеличить дальность на 15 – 20% при той же скорости.

В целях обеспечения предоставления услуг различного уровня в СП SHDSL предусмотрена возможность выбора скорости в диапазоне от 192 кбит/с до 2312 кбит/с с шагом 8 кбит/с. За счет расширения набора скоростей передачи оператор может выстроить маркетинговую политику, более полно удовлетворяющую потребностям клиентов. Кроме того, к снижению скорости передачи прибегают в тех случаях, когда необходимо добиться увеличения дальности передачи, а установка регенераторов невозможна или нецелесообразна. При максимальной скорости передачи длина цифровой АЛ на базе СП SHDSL составляет около 2 км (для кабеля типа ТП с диаметром жил 0,4 мм), при минимальной – свыше 6 км.

Для увеличения скорости передачи в СП SHDSL предусмотрена возможность использования для передачи данных одновременно до четырех пар, что позволяет обеспечить скорость передачи до 9,248 Мбит/с.

Введенная в декабре 2003 года редакция Рекомендации G.991.2 предусматривает опцию СП SHDSL с увеличенной скоростью передачи информации по одной паре кабеля до 5696 кбит/с, при этом возможно использование как модуляции 16-ТСПАМ, так и 32-ТСПАМ. Это позволяет СП SHDSL при работе в четырехпарном режиме передачи достигать скорости 22784 кбит/с.

В 2007 году появились сообщения о дальнейшем увеличении максимальной скорости передачи СП SHDSL по одной паре до 15200 кбит/с путем реализации методов модуляции 64-ТСПАМ и 128-ТСПАМ. Дальнейшее описание СП SHDSL будет относиться к базовому варианту системы со скоростью передачи от 192 кбит/с до 2312 кбит/с.

Самым крупным элементом структуры сигнала SHDSL является кадр, состоящий из 4-х блоков полезных данных и служебной информации (см. рис. 6.1).

Синхронизация кадра	Служ. информ	Блок данных	Служ. информ	Блок данных	Служ. информ.	Блок данных	Служ. информ.	Блок данных
---------------------	--------------	-------------	--------------	-------------	---------------	-------------	---------------	-------------

Рисунок 6.1 – Структура кадра SHDSL

Каждый блок данных содержит 12 подблоков. Длительность кадра в случае синхронного режима передачи равна 6 мс, а в случае плезиохронного режима –  $6 + 3/(k+12)$  мс, где  $k$  – размер каждого блока полезной информации,  $k = 12(i + 8n)$  битов. Скорость передачи информации равна  $64n + 8i$  кбит/с, где  $3 \leq n \leq 36$  и  $0 \leq i \leq 7$ . При  $n = 36$   $i$  может принимать только два значения: 0 и 1. Значение скорости передачи информации устанавливается в процессе инициализации.

Структурная схема передатчика STU-C (SHDSL Transceiver Unit at the Central Office – приемопередатчик SHDSL на станционной стороне) или STU-R (SHDSL Transceiver Unit at the Remote End – приемопередатчик SHDSL на стороне пользователя) изображена на рис. 6.2.

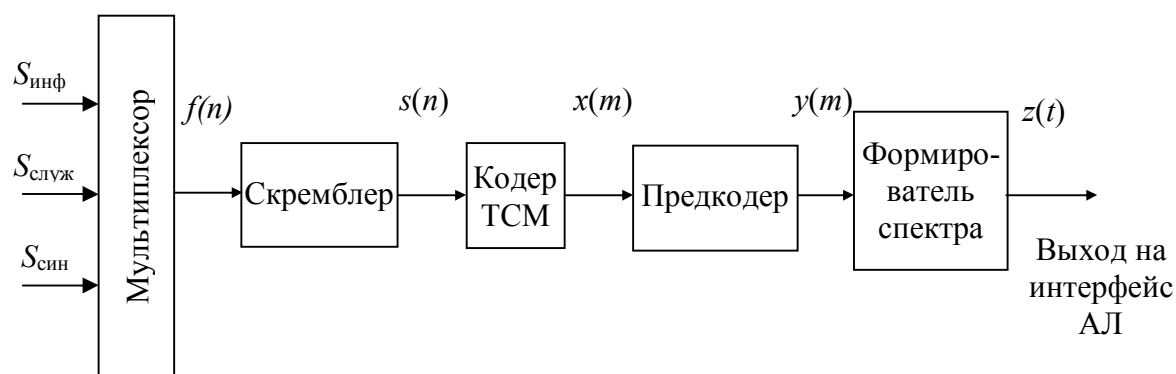


Рисунок 6.2 – Структурная схема передатчика SHDSL

Входной мультиплексор передатчика объединяет информационные сигналы  $S_{\text{инф}}$  и служебные  $S_{\text{служ}}$  с сигналами синхронизации и управления  $S_{\text{син}}$  в единый цифровой поток  $f(n)$ ,  $n = 1, 2, \dots$  ( $n$  – номер бита) в соответствии с кадровой структурой сигнала. Сформированный цифровой поток скремблируется, и псевдослучайный сигнал  $s(n)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , поступает на вход кодера TCM (Trellis Coded Modulation). Выходным сигналом TCM-кодера являются  $K$ -битовые информационные символы –  $x(m)$ ,  $m = 1, 2, \dots$  ( $m$  – номер символа). Затем символы  $x(m)$  пересчитываются по алгоритму предкодирования Томлинсона в символы  $y(m)$ ,  $m = 1, 2, \dots$ , и поступают в формирователь спектра, осуществляющий преобразование цифрового сигнала  $y(m)$  в аналоговый сигнал  $z(t)$  с требуемой спектральной характеристикой.

При передаче  $K$  информационных битов на один АИМ-символ длительность символа в  $K$  раз превышает длительность бита, поэтому биты при

данном  $m$  нумеруются следующим образом:  $\{mK+0, mK+1, \dots, mK+K-1\}$ . Символьная скорость  $f_{\text{сим}}$  (символ/с) связана со скоростью передачи полезной информации  $R$  (бит/с) следующим соотношением:

$$f_{\text{сим}} = (R+8) / 3.$$

Схема кодера TCM изображена на рис. 6.3. Последовательный поток битов  $s(n)$  с выхода скремблера преобразуется в  $K$ -битовое параллельное слово  $m$ -го символа, которое затем обрабатывается сверточным кодером. Полученное в результате этого  $(K+1)$ -битовое слово представляется одним из  $2^{K+1}$  определенных уровней АИМ-сигнала, формируя  $x(m)$ .

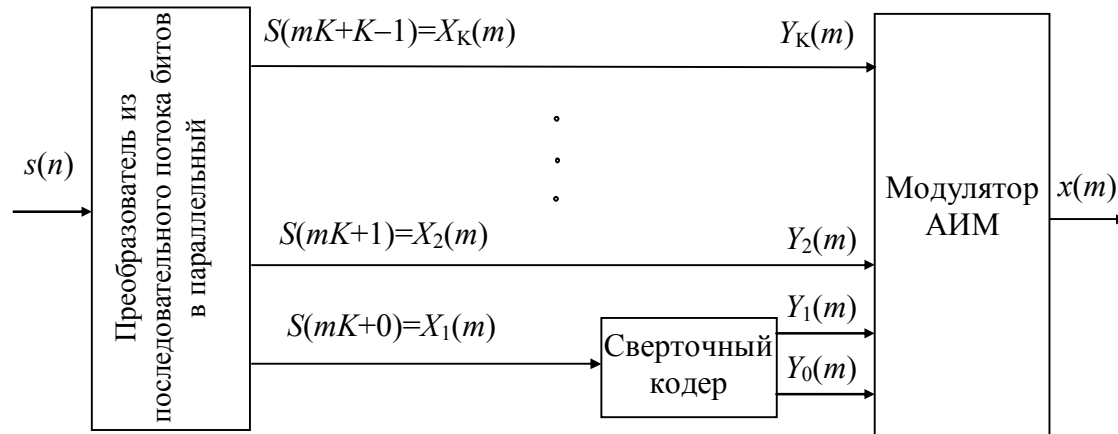


Рисунок 6.3 – Кодер TCM

Правило преобразования битового слова в 16-уровневый АИМ-сигнал (АИМ-16) приведено в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Преобразование битового слова в уровни АИМ

$Y_3(m)$	$Y_2(m)$	$Y_1(m)$	$Y_0(m)$	$x(m)$ для АИМ-16
0	0	0	0	-15/16
0	0	0	1	-13/16
0	0	1	0	-11/16
0	0	1	1	-9/16
0	1	0	0	-7/16
0	1	0	1	-5/16
0	1	1	0	-3/16
0	1	1	1	-1/16
1	1	0	0	1/16
1	1	0	1	3/16
1	1	1	0	5/16
1	1	1	1	7/16
1	0	0	0	9/16
1	0	0	1	11/16
1	0	1	0	13/16
1	0	1	1	15/16

Схема сверточного кодера приведена на рис. 6.4, на котором, как и ранее,  $D$  означает операцию задержки на один такт,  $\oplus$  – операцию сложения по модулю 2,  $\otimes$  – операцию двоичного умножения.

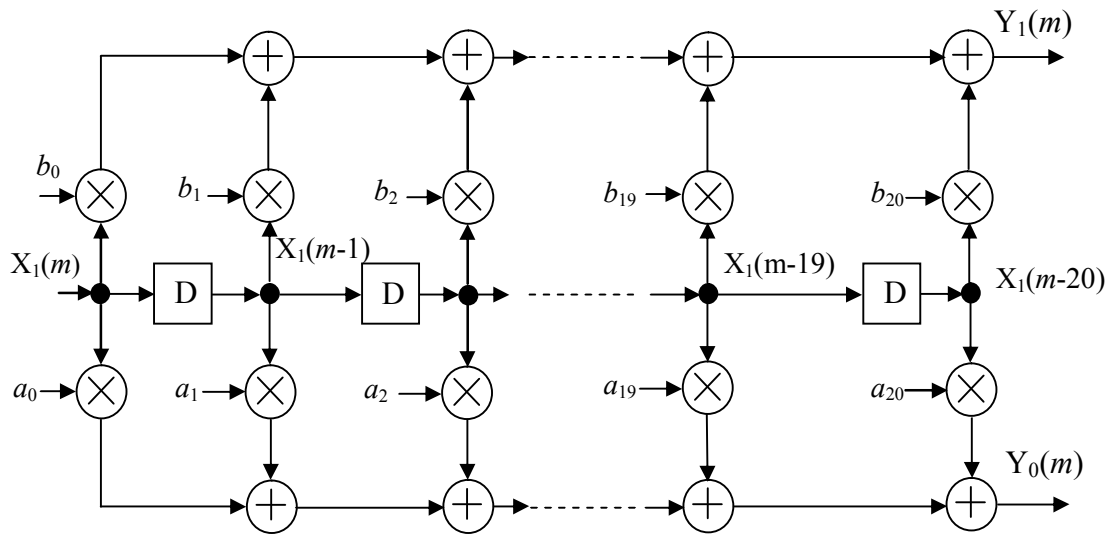


Рисунок 6.4 – Сверточный кодер

Значения коэффициентов двоичных многочленов  $A$  и  $B$  определяются в процессе инициализации СП SHDSL:

$$A = a_{20} 2^{20} + a_{19} 2^{19} + a_{18} 2^{18} + \dots + a_0 2^0; \quad B = b_{20} 2^{20} + b_{19} 2^{19} + b_{18} 2^{18} + \dots + b_0 2^0.$$

Сигнал с выхода кодера TCM поступает на предварительный кодер, схема которого приведена на рис. 6.5.

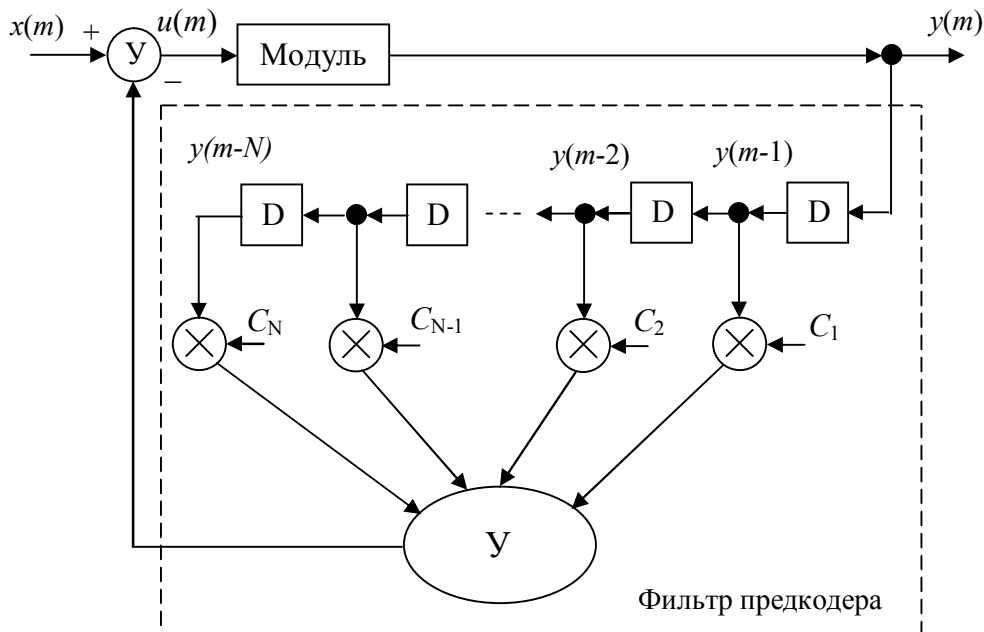


Рисунок 6.5 – Предварительный кодер (предкодер)

Значения коэффициентов  $C_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ , определяются приемником на противоположном окончании оборудования СП и передаются на передающую сторону в процессе инициализации, что обеспечивает предварительную



коррекцию спектра формируемого сигнала, частично компенсирующую частотные искажения сигнала при его распространении в линии связи.

Функцией блока «Модуль» является определение  $y(m)$  следующим образом: для каждой величины  $u(m)$  найти такое целое число  $d(m)$ , чтобы выполнялось условие:

$$-1 \leq u(m) + 2d(m) < 1,$$

тогда

$$y(m) = u(m) + 2d(m).$$

Для скремблирования сигнала в СП SHDSL используется самосинхронизирующийся скремблер-дескремблер.

Полином скремблирования в нисходящем направлении описывается выражением:

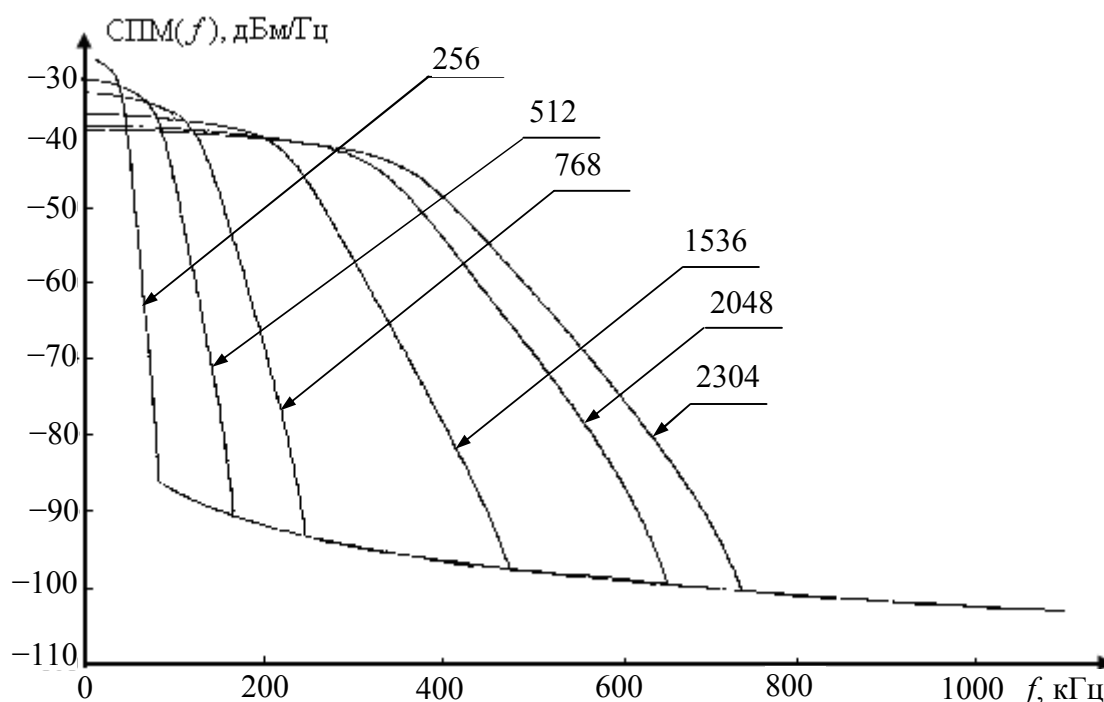
$$G(D) = D^{23} + D^5 + 1.$$

А в восходящем направлении передачи используется полином скремблирования:

$$G(D) = D^{23} + D^{18} + 1.$$

Схема скремблера приведена на рис. 3.26.

Устройство формирования спектра создает на выходе сигнал, спектральная плотность мощности которого удовлетворяет маскам мощности, приведенным на рис. 6.6 и 6.7.

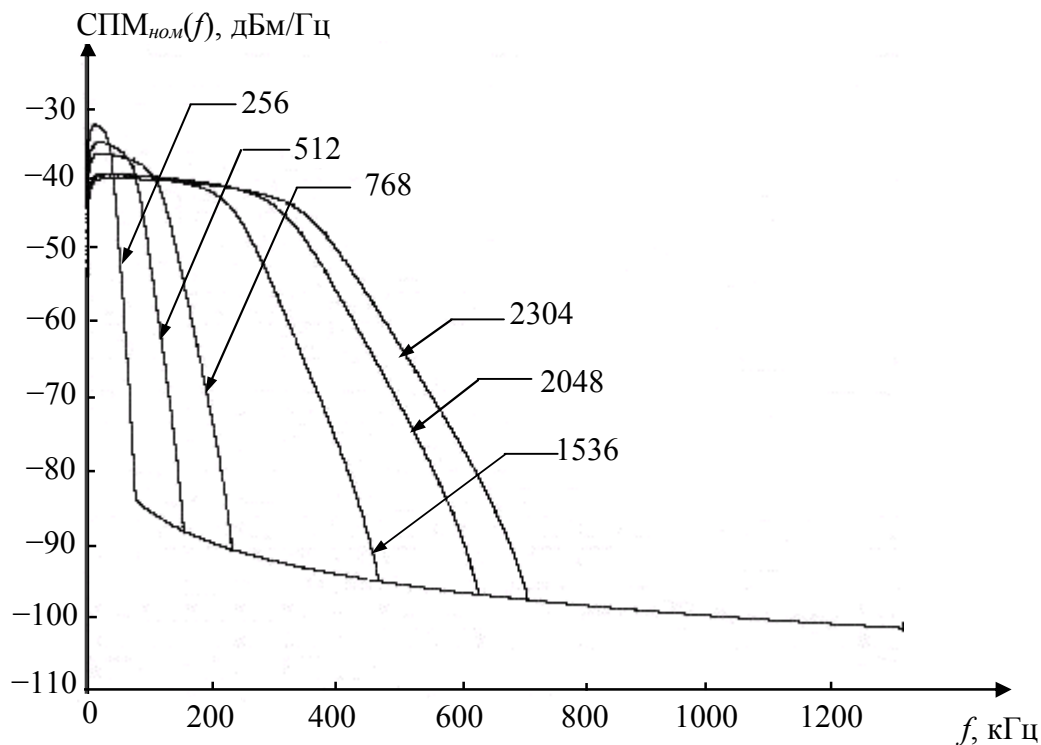


**Рисунок 6.6** – Маски спектральной плотности мощности сигнала SHDSL для скоростей 256; 512; 768; 1536; 2048 и 2304 кбит/с (16-TCPAM)

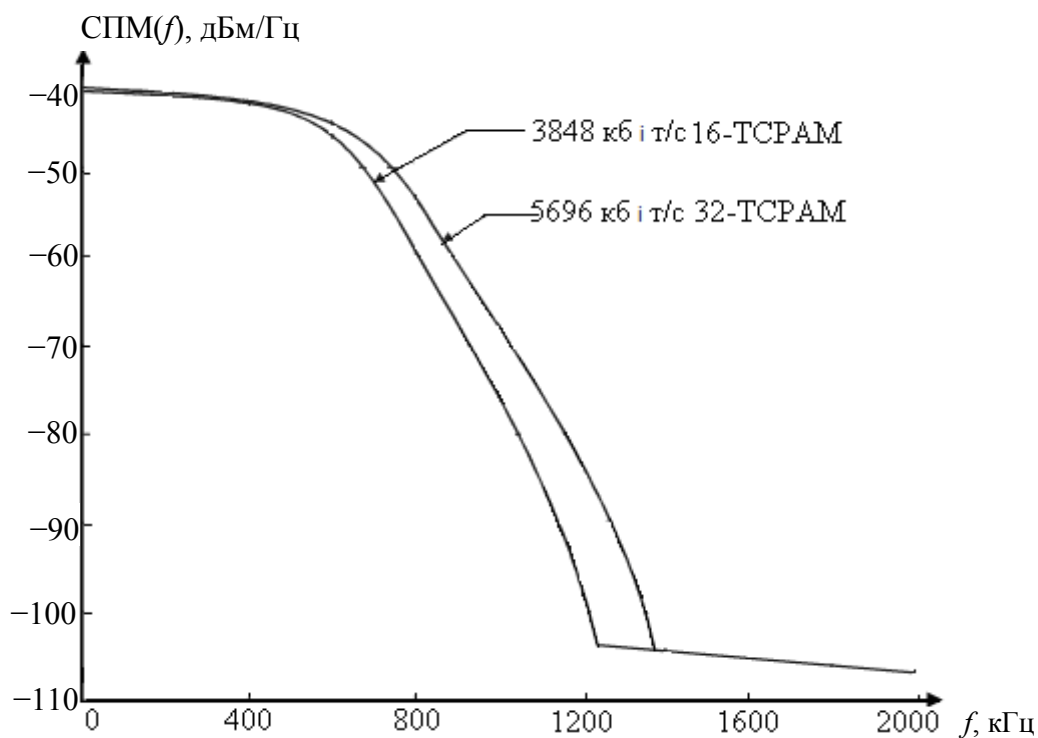
Одна из особенностей СП SHDSL состоит в том, что ширина спектра передаваемого сигнала изменяется пропорционально скорости передачи информации. На рис. 6.6 изображены маски спектральной плотности мощности передаваемого сигнала СПМ( $f$ ) для скоростей 256, 512, 768, 1536, 2048 и 2304 кбит/с, а на рис. 6.7 – графики зависимости номинальной спектральной

плотности мощности передаваемого сигнала  $\text{СПМ}_{\text{ном}}(f)$  от частоты для тех же скоростей. На рис. 6.8 изображены маски спектральной плотности мощности передаваемого сигнала для опциональных скоростей 3848 и 5696 кбит/с.

В СП SHDSL допускается опциональное использование несимметричных (различных на станционной и абонентской стороне) масок спектральной плотности мощности.



**Рисунок 6.7** – Номинальная спектральная плотность мощности сигнала SHDSL для скоростей 256; 512; 768; 1536; 2048 и 2304 кбит/с (16-ТСРАМ)

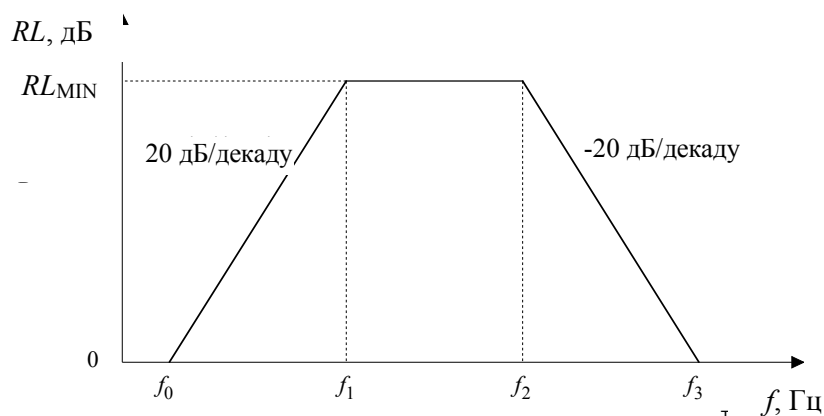


**Рисунок 6.8** – Маски спектральной плотности мощности для скоростей 3848 кбит/с (16-ТСРАМ) и 5696 кбит/с (32-ТСРАМ)

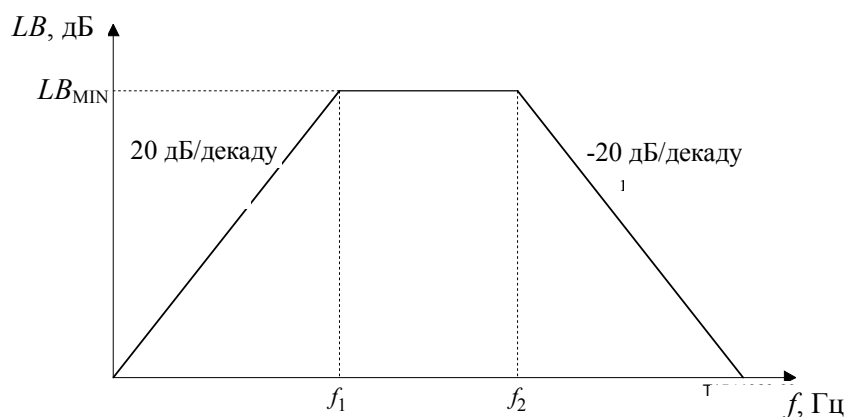
Максимальный уровень мощности на выходе передатчика составляет 15 дБм при скоростях, больших либо равных 2048 кбит/с, и 14 дБм при скоростях ниже 2048 кбит/с.

Значения затухания несогласованности, определенные относительно нагрузочного сопротивления 135 Ом, должны удовлетворять маске, приведенной на рис. 6.9. На этом рисунке  $RL_{\text{MIN}} = 12$  дБ,  $f_0 = 12,56$  кГц,  $f_1 = 50$  кГц,  $f_2 = f_{\text{sym}}/2$ ,  $f_3 = 1,99 f_{\text{sym}}$ , где  $f_{\text{sym}}$  – символьная скорость,  $f_{\text{sym}} = (R + 8)/3$ ,  $R$  – полезная скорость передачи.

Значения затухания асимметрии должны удовлетворять маске, приведенной на рис. 6.10. На этом рисунке  $LB_{\text{MIN}} = 40$  дБ,  $f_1 = 5$  кГц,  $f_2 = f_{\text{sym}}/2$ .



**Рисунок 6.9** – Маска значений затухания несогласованности для интерфейсов SHDSL



**Рисунок 6.10** – Маска значений затухания асимметрии для интерфейсов SHDSL

### **Вопросы для закрепления**

1. Какой метод передачи используется в СП SHDSL?
2. Какой метод коррекции частотных искажений характеристик канала связи используется в СП SHDSL?
3. Объяснить зависимость спектра сигнала на выходе передатчика СП SHDSL от скорости передачи (рис. 6.7).
4. Какой метод разделения сигналов встречных направлений передачи используется в СП SHDSL?

## 7 ХАРАКТЕРИСТИКИ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ

### 7.1 Характеристика кабелей абонентских линий

Составляющей сети доступа являются абонентские линии (АЛ), которые строятся на использовании как низкочастотных, так и высокочастотных кабелей. Скорость передачи информации по абонентским линиям зависит от значений электрических параметров кабелей, соединительных муфт, кроссового оборудования АТС, распределительных шкафов, коробок и ящиков, оборудования xDSL и т.д. Ниже приведены краткие данные о кабелях, используемых на городской телефонной сети (ГТС).

#### 7.1.1 Типы кабелей, применяемых на абонентских линиях

*Кабелем* называют конструкцию, состоящую из скрученных в сердечник изолированных жил, поверх которого (сердечника) размещаются оболочка для защиты от проникновения влаги и бронированное покрытие.

В зависимости от условий прокладки и эксплуатации, кабели разделяют на подземные, подводные, для подвешивания и прокладки в телефонной канализации.

По спектру частот кабели разделяют на низкочастотные и высокочастотные. По конструкции и взаимному расположению жил различают симметричные и коаксиальные кабели, в состав которых входят соответственно симметричные и коаксиальные пары.

Симметричная пара – пара, в которой изолированные жилы одинаковой конструкции – параллельные или скрученные – расположены симметрично по отношению к ее продольной оси.

Коаксиальная пара – пара, жилы которой разделены изоляцией и имеют общую ось.

На ГТС используют малопарные и многопарные кабели. Ниже приведена характеристика наиболее распространенных кабелей для построения АЛ.

Многопарные кабели типа Т:

- с медными жилами диаметром 0,4; 0,5; 0,7 мм, парной скруткой, с бумажной изоляцией жил, в стальной гофрированной или алюминиевой оболочке (марки ТСтШп, ТАШп, ТАгШп).

- с медными жилами диаметром 0,4; 0,5; 0,7 мм, с бумажной изоляцией жил и в свинцовой влагозащитной оболочке (марки ТГ, ТГШп, ТВ, ТБпШп, ТБГ, ТК, ТКпШп и т.п.).

Многопарные кабели типа ТП:

- с медными жилами, парной скруткой, с полиэтиленовой изоляцией, с жилами диаметром 0,32; 0,4; 0,5; 0,64; 0,7; 0,9 мм, в полиэтиленовой оболочке, с заполнением или без заполнения сердечника гидрофобной массой;

- с жилами диаметром 0,4; 0,5; 0,64 мм – в поливинилхлоридной оболочке (марки ТБО);

– с жилами 0,5 мм в алюминиевой оболочке, защищенной полиэтиленовым или поливинилхлоридным шлангом (марки СТПА).

Малопарные кабели марки КТПЗБШп содержат медные жилы диаметром 0,64 мм, полиэтиленовую изоляцию и оболочку. Кабели предназначены для применения на местных сетях связи в цифровых линейных трактах передачи сигналов со скоростью до 2048 кбит/с.

Высокочастотные (цифровые) абонентские кабели местной связи КВППэпЗ, КЦППэпЗ с медными жилами диаметром 0,5 и 0,64 мм, полиэтиленовой изоляцией жил, алюминиевым экраном, полиэтиленовой оболочкой заполнены гидрофобным компаундом. Кабели обеспечивают работу оборудования xDSL со скоростью 2048 кбит/с.

Кабели марок, предназначенные для применения на местных сетях связи для эксплуатации на магистральных, групповых абонентских линиях, в цифровых линейных трактах передачи сигналов со скоростью до 2048 кбит/с:

– ТПВ-ЭЦ содержат медные токопроводящие жилы диаметром 0,5 и 0,64 мм. Изоляция жил сплошная, полиэтиленовая. Жилы скручиваются в четверки, образуя пары, расположенные по диагонали. Сердечник кабеля состоит из 1, 2, 4, 6 или 10 индивидуально экранированных четверок. Внешняя оболочка изготовлена из светостабилизированного полиэтилена;

– ТППэп-МЦ содержат медные токопроводящие жилы диаметром 0,5 и 0,64 мм. Изоляция жил сплошная полиэтиленовая. Жилы скручиваются в четверки, образуя пары, расположенные по диагонали. Сердечник кабеля состоит из модулей. Модуль, скрученный из 4 – 5 неэкранированных четверок, имеет экран. Сердечник кабеля состоит из 10, 16, 20, 30 или 40 четверок. В кабеле поверх поясной изоляции расположен экран из алюминиево-полимерной ленты. Внешняя оболочка изготовлена из светостабилизированного полиэтилена;

– ТППэпЗ-ЭЦ содержат медные жилы диаметром 0,4; 0,5 или 0,64 мм. Изоляция жил – полиэтиленовая, сплошная. Жилы скручены в пары. Сердечник кабеля состоит из 1, 2, 4, 6 или 10 четверок. В кабеле поверх поясной изоляции расположен экран из алюминиево-полимерной ленты. Внешняя оболочка изготовлена из светостабилизированного полиэтилена.

Однопарные кабели марки ПРППМ и ПРПВМ содержат медные жилы диаметром 0,9 и 1,2 мм, полиэтиленовую изоляцию жил, полиэтиленовую и поливинилхлоридную оболочку соответственно.

Вместо низкочастотного кабеля ПРППМ может использоваться защищенный от грызунов и внешних электромагнитных полей абонентский кабель КАПЗоп с медными жилами диаметром 0,5; 0,64 и 0,9 мм, полиэтиленовой изоляцией жил, гидрофобным заполнением сердечника, оплеткой из оцинкованных проволок и полиэтиленовым шлангом.

Станционные кабели марки ТСВ имеют медные жилы диаметром 0,4 и 0,5 мм, полиэтиленовую изоляцию жил и поливинилхлоридную оболочку.

Для абонентской проводки применяют однопарные телефонные распределительные провода марок ТРП, ТРВ с медными жилами диаметром 0,4 и 0,5 мм, с полиэтиленовой и поливинилхлоридной изоляцией соответственно.

Для внутридомовой проводки при организации связи с применением оборудования СП в диапазоне частот до 2048 кГц применяют кабели типа ТПВЭ АД 2, которые содержат две параллельно уложенные экранированные группы с одной, двумя или четырьмя парами медных жил диаметром 0,5 мм, изолированные сплошным полиэтиленом и покрытые поливинилхлоридной оболочкой.

Инсталляционные кабели предназначены для прокладки внутри зданий, станций, сооружений, аппаратуры, для эксплуатации в структурированных кабельных системах (СКС) в частотном диапазоне до 16, 20 или 100 МГц.

Кабели СКС для широкополосного доступа: малопарные ЭКС-ГВПВ-5 (2, 4 пары); многопарные ЭКС-МВПВ (до 100 пар). Диаметр жил равен 0,52 и 0,64 мм.

Соединения в кроссах и распределительных шкафах выполняются кроссировочными проводами марки ПКСВ с диаметром медных жил 0,4 и 0,5 мм.

В табл. 7.1 приведена краткая характеристика типов кабелей с медными жилами, применяемых на АЛ местной телефонной сети.

*Структурированная кабельная система (СКС)* – основа информационной инфраструктуры предприятия, представляющая собой кабельную систему, в состав которой входят кабели, муфты, соединительные шнуры, кабельные разъемы, модульные гнезда, информационные розетки и вспомогательное оборудование.

СКС позволяет свести в единую систему информационные сервисы различного назначения: локальные вычислительные (ЛВС) и телефонные сети; системы безопасности; системы видеонаблюдения и т.д.

СКС поддерживает передачу сигналов речи, данных и видеоизображения мультимедийной средой с использованием коаксиального кабеля, экранированной и неэкранированной витой пары, оптического волокна.

*Витая пара* – скрученная симметричная пара с высокой степенью симметрии электрических параметров относительно продольной оси.

Классификация кабелей СКС по категориям приведена в табл. 7.2. Неэкранированная витая пара является основной средой передачи сигналов.

**Таблица 7.1** – Типы кабелей, применяемых на АЛ местной телефонной сети

Тип кабеля	Диаметр жил, мм	Материал изоляции жил/оболочки	Гидрофобное заполнение сердечника	Диапазон частот	Область применения
Т	0,4; 0,5; 0,7	кабельная бумага	нет	низкие частоты	магистральный и распределительный участки ГТС и СТС
ТП	0,32; 0,4; 0,5; 0,64; 0,7; 0,9	полиэтилен/полиэтилен	есть / нет	низкие частоты	магистральный и распределительный участки ГТС и СТС
КТПЗБШп	0,64	полиэтилен/полиэтилен	есть	низкие частоты	СТС
КВПЭпЗ КЦПЭпЗ	0,5; 0,64	полиэтилен/полиэтилен	есть	высокие частоты	уплотнение АЛ оборудованием xDSL
ТППЭпЗ-МЦ ТППЭпЗ-ЭЦ ТПВ-ЭЦ	0,5; 0,64	полиэтилен/ полиэтилен/ полиэтилен/ полиэтилен/ поливинилхлорид	есть  есть нет	высокие частоты	магистральный участок, групповые абонентские линии
ПРППМ ПРПВМ	0,8; 0,9; 1,2	полиэтилен (полиэтилен/поливинилхлорид)	нет	низкие частоты	СТС
КАПЗоп	0,5; 0,64; 0,9	полиэтилен/полиэтилен	есть	низкие и высокие частоты	СТС, уплотнение АЛ оборудованием xDSL
ТСВ	0,4; 0,5	поливинилхлорид/ поливинилхлорид	нет	низкие частоты	станционный участок
ТРП ТРВ	0,4; 0,5	полиэтилен, поливинилхлорид	нет	низкие частоты	абонентская проводка
ТПВЭ АД	0,5	полиэтилен/ поливинилхлорид	нет	до 200 кГц	в домах с повышенным электромагнитным влиянием
ЭКС-ГВПВ-5 ЭКС-МВПВ	0,52 0,52; 0,64	полиэтилен/ поливинилхлорид	нет	до 16 - 100 МГц	СКС, цифровые сети абонентского доступа

**Таблица 7.2** – Классификация кабелей СКС по категориям

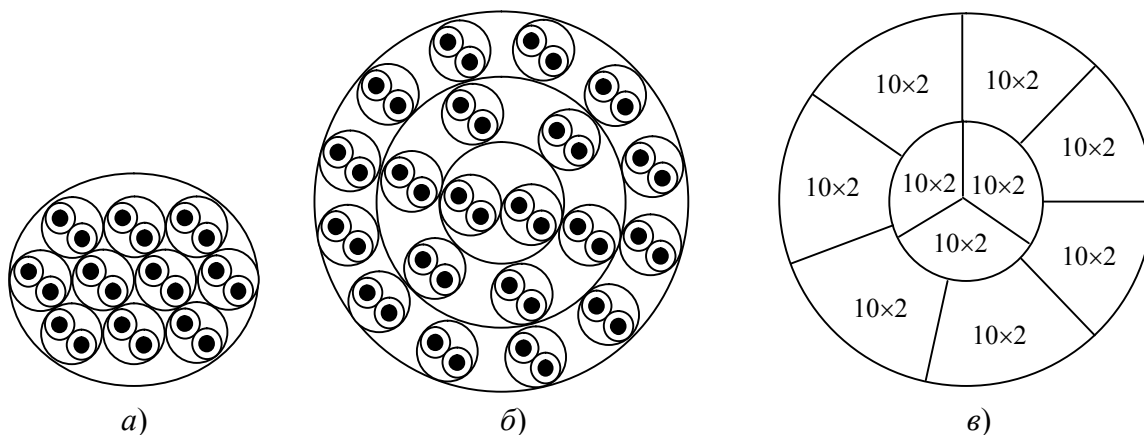
Категория кабеля	Максимальная частота сигнала, МГц	Область применения
Категория 3	до 16	ЛВС, Ethernet, Token Ring, телефония
Категория 5 и 5е	до 100	ЛВС, Ethernet, Fast Ethernet, ATM, Token Ring, телефония
Категория 6	до 250	ЛВС, Gigabit Ethernet, Ethernet, Fast Ethernet, ATM, Token Ring (пары экранируются или не экранируются)
Категория 7	до 600	ЛВС, Gigabit Ethernet, Ethernet, Fast Ethernet, ATM, Token Ring (пары обязательно экранируются).

### ***Кабели с пучковым построением сердечника***

**Пучок** – элемент конструкции сердечника кабеля, состоящий из совокупности групп (пар, четверок и т.п.), скрученных в одну сторону с одинаковым шагом.

**Пара** – группа или часть группы из двух изолированных между собой жил (проводников), предназначенных для работы в одной электрической цепи.

Пары жил скручивают в элементарные пучки (пяти- или десятипарные) или сердечник (пяти- или десятипарного кабеля) однонаправленной или разнонаправленной скруткой. На рис. 7.1, а приведена схема образования сердечника кабеля емкостью 10 пар. Пары в элементарном десятипарном пучке и десятипарном сердечнике имеют определенную расцветку.



**Рисунок 7.1** - Схемы образования сердечника кабеля емкостью 10 пар с пучковой скруткой (а), 20 пар с повивной скруткой (б) и 100 пар с пучковой скруткой (в)

Пары в элементарном пятипарном пучке или пятипарном сердечнике имеют расцветку первых или вторых пяти пар десятипарного элементарного пучка.

На элементарный пучок накладывается по спирали скрепляющая обмотка из синтетических нитей или идентификационных лент. Элементарные пучки скручивают в главные (50- или 100-парные) пучки однонаправленной или разнонаправленной скруткой. На рис. 7.1, в приведена схема образования 100-парного пучка. Главные пучки скручивают в сердечник кабеля однонаправленной или разнонаправленной скруткой.

Допускается маркировка с помощью счетного и направляющего элементарных пучков в каждом повиве сердечника или главного пучка, отличающихся от других пучков цветом скрепляющей нити или ленты. Счетный элементарный пучок обматывают скрепляющей синтетической нитью или идентификационной лентой красного цвета, направляющий – нитью или лентой зеленого или синего цвета.

### ***Кабели с повивным построением сердечника***

**Повив** – слой элементов скрутки, расположенных коаксиально или по отношению к другим аналогичным элементам, образующим в совокупности скрученную часть конструкции кабельного изделия (токопроводящую жилу,



сердечник) или коаксиально поверх внутренней (по отношению к этому слою) части кабельного изделия.

Пары в сердечнике кабеля располагают в повивах. Повивы с взаимно противоположным направлением скрутки обматывают синтетической нитью или лентой. В каждом повиве должна быть одна счетная и одна направляющая пары, расцветка которых должна отличаться от расцветки других пар в повиве. Расцветка счетной и направляющей пар также отличаются между собой. Пары, расположенные в центре сердечника, могут не скручиваться между собой и не отделяться синтетической нитью или лентой от смежного повива. На рис. 7.1, б приведена схема образования сердечника кабеля емкостью 20 пар.

Системы скрутки элементарных пучков и пар в сердечниках кабеля емкостью до 100 пар приведены в табл. 7.3 и 7.4.

**Таблица 7.3** – Системы скрутки элементарных пучков в сердечник кабеля емкостью до 100 пар с пучковой скруткой

Номинальное число пар	Система скрутки
5	$1 \times (5 \times 2)$
10	$1 \times (10 \times 2)$
20	$2 \times (10 \times 2)$
20	$4 \times (5 \times 2)$
30	$6 \times (5 \times 2)$
30	$3 \times (10 \times 2)$
50	$5 \times (10 \times 2)$
100	$(3+7) \times (10 \times 2)$
100	$(2+8) \times (10 \times 2)$

**Примечание.** В правой части обозначения системы скрутки сердечника содержится обозначение количества пар (5 или 10) в элементарном пучке ( $5 \times 2$  або  $10 \times 02$ ). Одна (две) цифры перед ( $5 \times 2$ ) или ( $10 \times 2$ ) означает количество элементарных пучков в центральном (центральном и первом) повивах.

**Таблица 7.4** – Системы скрутки сердечника кабеля емкостью до 100 пар с повивной скруткой

Номинальное число пар	Система скрутки
10	2+8
20	2+6+12
30	4+10+16
50	4+10+16+20
100	2+8+14+20+26+30

**Примечание.** Обозначение системы скрутки сердечника содержит несколько чисел, количество которых равно количеству повивов. Первая цифра указывает на количество пар в центральном повиве, вторая цифра – на количество пар в первом повиве и т.д.

### 7.1.2 Электрические параметры передачи кабелей

К электрическим параметрам передачи кабелей относятся: электрическое сопротивление токопроводящих жил постоянному току  $R_{ж}$ , Ом/км; электрическое сопротивление изоляции жил  $R_{из}$ , МОм·км, рабочая (электрическая) емкость  $C_0$ , нФ/км; коэффициент затухания  $\alpha$ , дБ/км; коэффициент фазы  $\beta$ , рад/км; модуль волнового сопротивления  $|Z_B|$ , Ом, и его фаза  $\varphi_B$ , град.; электрическое сопротивление изоляции наружной оболочки  $R_{из об}$  и шланга  $R_{из ш}$ , МОм·км; переходное затухание на ближнем конце  $A_0$ , дальнем конце  $A_l$  и защищенность на дальнем конце  $A_z$ , дБ; затухание несогласованности  $A_{нс}$  и затухание асимметрии  $A_{ас}$ , дБ.

Средние значения электрических параметров передачи кабелей типа ТП приведены в табл. 7.5 и 7.6. Низкочастотные и высокочастотные параметры передачи кабелей категорий 3, 5 и 5е приведены в табл. 7.7 – 7.9.

**Таблица 7.5** – Средние значения электрического сопротивления, омической асимметрии и рабочей емкости кабелей типа ТП

Параметр	Частота, Гц	Среднее значение
1 Электрическое сопротивление токопроводящей жилы длиной 1 км при температуре 20° С, Ом/км, для диаметра жил, мм:	0	223 144 92,1 56,5 47,0 28,3
2 Омическая асимметрия жил пары, %, не более	0	1
3 Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил кабеля постоянному току, МОм	0	5 000
4 Рабочая емкость, пересчитанная на длину 1 км, при температуре 20° С, нФ/км, не более: - для кабелей без гидрофобного заполнения - для кабелей с гидрофобным заполнением - для кабелей с гидрофобным заполнением «Зв»	800 или 1000	48 54 57
<b>Примечание.</b> 1 Омическая асимметрия пары постоянному току – разность электрических сопротивлений проводников пары постоянному току. 2 Сопротивление изоляции пары – электрическое сопротивление постоянному току между двумя проводниками пары, изолированными друг от друга. 3 Рабочая емкость пары – электрическая емкость между двумя изолированными проводниками пары.		

**Таблица 7.6** – Допустимые значения коэффициента затухания кабелей типа ТП на частотах 1, 512 и 1024 кГц

Диаметр жил, мм	Частота, кГц	Коэффициент затухания, дБ/км, не более	
		кабель без гидрофобного заполнения	кабель с гидрофобным заполнением
0,32	1	2,4	2,5
0,4		1,9	2,0
0,5		1,5	1,6
0,64		1,2	1,3
0,7		1,1	1,2
0,9		0,7	0,8
0,4	512	19,5	20,8
0,5		16,7	18,0
0,4	1024	27,2	29,1
0,5		23,4	25,2

**Примечание.** Коэффициент затухания – затухание синусоидального сигнала при распространении по согласованной на входе и выходе паре длиной 1 км.

**Таблица 7.7** – Низкочастотные параметры передачи кабелей категорий 3, 5 и 5е

Категория кабеля	Электрические характеристики кабеля длиной 100 м			
	сопротивление жилы, Ом, не более	омическая асимметрия жил пары, %, не более	сопротивление изоляции, МОм, не менее	рабочая емкость, нФ, не более
3, 5, 5е	9,5	3	50 000	5,2

**Таблица 7.8** – Электрические параметры передачи кабелей категорий 5 и 5е длиной 100 м на частотах до 2 МГц

Частота, кГц	Затухание, дБ	Модуль волнового сопротивления, Ом
64	0,65	130
100	0,93	126
256	1,04	117
512	1,34	114
1000	1,81	107
2000	2,40	104

**Примечание.**

1 Волновое сопротивление – сопротивление, которое испытывает синусоидальная электромагнитная волна при распространении вдоль однородной пары без отражения.

2 Волновое сопротивление определяется как отношение комплексной амплитуды напряжения к комплексной амплитуде тока, имеет модуль и фазу.

3 Затухание – величина, которая характеризует изменение мощности (напряжения) сигнала при передаче его по паре и определяется логарифмом отношения значений мощности  $P_{вх}$  (напряжения  $U_{вх}$ ) на входе пары к мощности  $P_{вых}$  (напряжения  $U_{вых}$ ) на выходе пары, дБ:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{вх}}{P_{вых}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{вх}}{U_{вых}} \right|.$$

**Таблица 7.9** – Максимально допустимое затухание кабелей категорий 3, 5 и 5е длиной 100 м

Частота, МГц	Затухание пар кабеля, дБ, не более	
	Категория 3	Категория 5, 5е
0,772	2,2	1,8
1	2,6	2,0
4	5,6	4,1
10	9,7	6,5
16	13,1	8,2
20	–	9,3
31,25	–	11,7
62,5	–	17,0
100	–	22,0

#### ***Зависимость параметров передачи пар кабеля от частоты***

Первичные параметры передачи кабеля зависят от частоты. Например, активное сопротивление пары кабеля при увеличении частоты увеличивается вследствие влияния поверхностного эффекта, эффекта близости и влияния соседних жил. Индуктивность пары кабеля при увеличении частоты уменьшается вследствие того, что под влиянием поверхностного эффекта уменьшается внутренняя индуктивность, а внешняя индуктивность от частоты не зависит. Рабочая емкость пары кабеля от частоты не зависит. Проводимость изоляции при увеличении частоты растет вследствие увеличения потерь на поляризацию материала изоляции.

Вторичные параметры передачи кабеля определяются первичными параметрами передачи и поэтому зависят от частоты. Коэффициент затухания пары кабеля при увеличении частоты увеличивается вследствие увеличения потерь за счет вихревых токов в металлических жилах и потерь на поляризацию материала изоляции. Модуль волнового сопротивления пары кабеля при увеличении частоты сначала уменьшается за счет уменьшения внутренней индуктивности, а затем становится независимым от частоты. Фаза волнового сопротивления при увеличении частоты имеет отрицательный знак и приближается постепенно к нулю в диапазоне высоких частот.

#### ***Зависимость параметров передачи пар кабеля от длины***

Сопротивление и рабочая емкость пары прямо пропорционально зависят от длины кабеля. Сопротивление изоляции зависит от длины пары кабеля обратно пропорционально. Затухание зависит прямо пропорционально от длины пары кабеля. Модуль и фаза волнового сопротивления от длины пары кабеля не зависят.

#### ***Зависимость параметров передачи пар кабеля от срока эксплуатации***

Вследствие процесса старения все электрические параметры передачи кабеля меняются. Наибольшую зависимость от срока эксплуатации имеют сопротивление изоляции, рабочая емкость и коэффициент затухания. Некоторые данные о влиянии срока эксплуатации на электрическое

сопротивление изоляции и рабочую емкость кабелей типа ТП и ТППЗ приведены в табл. 7.10 – 7.11.

**Таблица 7.10** – Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил кабеля постоянному току без оконечных устройств с учетом срока эксплуатации

Тип кабеля	Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил, МОм, не менее, при сроке эксплуатации		
	до 5-ти лет	до 10-ти лет	свыше 15-ти лет
ТП	1 000	500	300
ТППЗ	1 000	800	500
<b>Примечание.</b> Кабель ТППЗ имеет гидрофобное заполнение.			

**Таблица 7.11** – Рабочая емкость 1 км жил кабеля

Тип кабеля	Рабочая емкость, нФ/км, при сроке эксплуатации		
	до 5-ти лет	до 10-ти лет	свыше 15-ти лет
ТП	50	55	60
ТППЗ	50	50	55

### 7.1.3 Параметры взаимного влияния

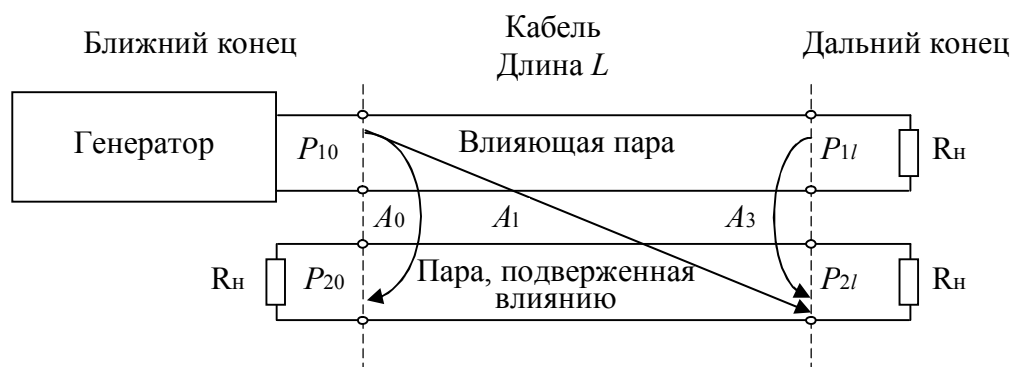
Взаимное влияние в кабеле возникает вследствие электромагнитной связи между парами. Уровень взаимных помех, возникающих внутри кабеля, определяется переходными затуханиями между парами.

*Переходное затухание* – затухание синусоидального сигнала при переходе от влияющей пары к паре, подверженной влиянию.

Различают переходные затухания на ближнем конце  $A_0$ , на дальнем конце  $A_l$  и защищенность на дальнем конце  $A_3$ .

На рис. 7.2 приведен пример размещения двух пар в кабеле. Буквами *a* и *б* обозначены жилы пар. Вертикальные штриховые линии обозначают два конца кабеля.

Пара, к которой подключен генератор, является *влияющей парой*. Пара, к концам которой подключены сопротивления нагрузки, является *парой, подверженной влиянию*. Конец кабеля, к паре которого подключен генератор, является ближним концом. Конец кабеля, к парам которого подключены только сопротивления нагрузки  $R_n$ , является дальним концом. Сопротивления нагрузки  $R_n$  должны быть согласованы с волновым сопротивлением пар  $Z_v$ .



**Рисунок 7.2** – Пояснение к переходным затуханиям кабеля на ближнем конце  $A_0$ , на дальнем конце  $A_l$  и защищенности на дальнем конце  $A_3$

*Переходное затухание на ближнем конце* – затухание синусоидального сигнала при переходе с ближнего конца влияющей пары к ближнему концу пары, подверженной влиянию, при условии согласования пар на концах.

Величина переходного затухания на ближнем конце  $A_0$  (NEXT), в дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала  $P_{10}$  на ближнем конце влияющей пары к мощности помехи  $P_{20}$  на ближнем конце пары, подверженной влиянию:

$$A_0 = 10 \lg |P_{10}/P_{20}|.$$

*Переходное затухание на дальнем конце* – затухание синусоидального сигнала при переходе от ближнего конца влияющей пары к дальнему концу пары, подверженной влиянию, при условии согласования пар на концах.

Величина переходного затухания на дальнем конце  $A_l$  (FEXT), в дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала  $P_{10}$  на ближнем конце влияющей пары к мощности помехи  $P_{2l}$  на дальнем конце пары, подверженной влиянию:

$$A_l = 10 \lg |P_{10}/P_{2l}|.$$

*Защищенность между парами на дальнем конце (защищенность)* – затухание (переходное) синусоидального сигнала при переходе с дальнего конца влияющей пары к дальнему концу пары, подверженной влиянию, при условии согласования пар на концах.

**Примечание.** Защищенность между парами определяется как разница между уровнем сигнала в конце влияющей пары и уровнем помехи в конце пары, подверженной влиянию.

Величина защищенности на дальнем конце  $A_3$  (ELFEXT), в дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала  $P_{1l}$  на дальнем конце влияющей пары к мощности помехи  $P_{2l}$  на дальнем конце пары, подверженной влиянию:

$$A_3 = 10 \lg |P_{1l}/P_{2l}|.$$

Переходное затухание на дальнем конце и защищенность на дальнем конце связаны между собой собственным затуханием пары, равным произведению коэффициента затухания  $\bar{\alpha}$  на длину кабеля  $l$ :

$$A_l = A_3 + \bar{\alpha}l.$$

### ***Зависимость переходных затуханий от длины***

Как показали измерения на АЛ, среднее значение переходного затухания на ближнем конце в многопарных кабелях не зависит от длины и определяется переходным затуханием на ближнем конце первой строительной длины.

*Строительная длина кабеля* – изготовленный на кабельном заводе отрезок кабеля определенной протяженности, намотанный на барабан.

Средние значения переходного затухания на дальнем конце и защищенности на дальнем конце многопарного кабеля ГТС зависят от частоты и длины АЛ и определяются с помощью таких формул:

$$A_{з\text{ АЛ}} = A_{з\text{ сд}} - 10\lg(l/l_{\text{сд}});$$

$$A_{l\text{ АЛ}} = A_{з\text{ АЛ}} + \alpha \cdot l,$$

где  $A_{з\text{ АЛ}}$  – защищенность на дальнем конце АЛ длиной  $l$  км, дБ;

$A_{з\text{ сд}}$  – защищенность на дальнем конце одной строительной длины кабеля, дБ;

$A_{l\text{ АЛ}}$  – переходное затухание на дальнем конце АЛ, дБ;

$\alpha$  – коэффициент затухания кабеля, дБ/км, на частоте  $f$ ;

$l_{\text{сд}}$  – протяженность строительной длины кабеля, км.

Анализ выше приведенных формул для  $A_{з\text{ АЛ}}$  и  $A_{l\text{ АЛ}}$  доказывает, что при увеличении длины АЛ защищенность на дальнем конце уменьшается, а переходное затухание на дальнем конце сначала уменьшается, а затем начинает увеличиваться за счет увеличения собственного затухания  $\alpha l$ .

### ***Зависимость переходного затухания на ближнем конце от частоты***

Зависимость среднего значения переходного затухания между парами на ближнем конце в кабелях типа ТП от частоты в диапазоне частот от 10 кГц до 2 МГц можно определить по следующей, основанной на анализе результатов проведенных авторами измерений, приближенной формуле:

$$A_0(f) = A_{01} - 15\lg(f),$$

где  $A_{01}$  – значение переходного затухания на ближнем конце на частоте 1 МГц (табл. 7.12 и 7.14);  $f$  – частота, МГц.

Основной причиной уменьшения переходного затухания на ближнем конце при увеличении частоты является увеличение электромагнитных связей между парами.

### ***Зависимость переходных затуханий от взаимного расположения пар в кабеле с повивным построением сердечника***

Средние значения и среднеквадратические отклонения переходного затухания на ближнем конце кабелей типа ТП с повивным построением сердечника на частоте 1 МГц приведены в табл. 7.12.

**Таблица 7.12** – Средние значения и среднеквадратические отклонения переходного затухания на ближнем конце кабелей типа ТП с повивным построением сердечника на частоте 1 МГц

Расположение пар в сердечнике кабеля	Среднее значение переходного затухания на ближнем конце, дБ	Среднеквадратическое отклонение, дБ
Смежные в повиве	53	4,7
Через одну пару в повиве	65	5,5
Через две пары в повиве	73	7,4
Через три пары в повиве	74	7,2
Через четыре пары в повиве	75	5,2
У смежных повивах	68	5,6
Через один повив	75	6,3
Через два повива	79	6,8
Через три повива	81	6,2
Через четыре повива	81,5	6,9

Среднее значение защищенности на дальнем конце кабелей типа ТП длиной 280 м между парами, *расположенными рядом внутри одного повива*, на частотах свыше 10 кГц примерно определяется с помощью выражения, основанного на результатах проведенных авторами измерений:

$$A_{з\text{сд}}(f) = 105 - 15 \lg(f),$$

где  $f$  – частота, кГц.

В случае, если протяженность строительной длины кабеля  $l_{\text{сд}}$  отличается от 280 м, то величина защищенности на дальнем конце изменяется на величину, равную минус  $10 \lg(l_{\text{сд}}/280)$ .

Величина защищенности  $A_{з\text{сд}1}$  на дальнем конце *между не рядом расположенными парами* (между не соседними парами одного повива или между парами разных повивов) одной строительной длины кабеля определяется по формуле:

$$A_{з\text{сд}1} = A_{з\text{сд}} + \delta A_з,$$

где  $\delta A_з$  – приращение защищенности за счет взаимного удаления влияющей и подверженной влиянию пар, установленное на основе результатов проведенных авторами измерений и приведенное в табл. 7.13.

Анализ данных, приведенных в табл. 7.12 и 7.13, доказывает, что при расположении взаимовлияющих пар дальше друг от друга взаимное влияние между ними уменьшается.



**Таблица 7.13** – Значения приращений защищенности на дальнем конце ( $\delta A_3$ ) строительной длины кабеля типа ТП с повивным построением сердечника при различном взаимном расположении пар

Расположение пар в сердечнике кабеля	Приращение защищенности на дальнем конце, дБ
Через одну пару в повиве	6
Через две пары в повиве	10
Через три пары в повиве	11
Через четыре пары в повиве	12
В смежных повивах	8
Через один повив	13
Через два повива	15
Через три повива	16
Через четыре повива	16,5

***Зависимость переходных затуханий от взаимного расположения пар в сердечнике с пучковым построением сердечника кабеля***

Средние значения и среднеквадратические отклонения переходного затухания на ближнем конце кабелей типа ТП с пучковым построением сердечника на частоте 1 МГц приведены в табл. 7.14.

**Таблица 7.14** – Средние значения и среднеквадратические отклонения переходного затухания на ближнем конце кабелей типа ТП с пучковым построением сердечника на частоте 1 МГц

Расположение пар в сердечнике кабеля	Среднее значение переходного затухания на ближнем конце, дБ	Среднеквадратическое отклонение, дБ
Внутри элементарного пучка	65	8,1
В смежных элементарных пучках	69	7,2
Через один элементарный пучок	84	6,5
Через два элементарных пучка	88	5,2
В элементарных пучках смежных повивов	75	7,7

Среднее значение защищенности на дальнем конце строительной длины многопарного кабеля типа ТП длиной 280 м *между рядом расположенными парами* (внутри одного элементарного пучка) на частотах свыше 10 кГц определяется с помощью выражения, основанного на результатах проведенных авторами измерений:

$$A_{з\text{д}}(f) = 125 - 20 \lg(f),$$

где  $f$  – частота, кГц.

Следует отметить, что в случае, если протяженность строительной длины кабеля  $l_{\text{сд}}$  отличается от 280 м, величина защищенности на дальнем конце изменяется на величину, равную минус  $10 \lg(l_{\text{сд}}/280)$ .

Величина защищенности  $A_{з\text{сд1}}$  на дальнем конце *между не рядом расположенными парами* (в разных элементарных пучках одного повива или сердечника) одной строительной длины кабеля определяется по формуле:

$$A_{з\text{сд1}} = A_{з\text{сд}} + \delta A_3,$$

где  $\delta A_3$  – приращение защищенности за счет взаимного удаления влияющей и подверженной влиянию пар, определенное по результатам проведенных авторами измерений и приведенное в табл. 7.15.

**Таблица 7.15** – Значения приращений защищенности на дальнем конце ( $\delta A_3$ ) строительной длины кабеля типа ТП с пучковым построением сердечника при различном взаимном расположении пар

Расположение пар в сердечнике кабеля	Приращение защищенности на дальнем конце, дБ
В смежных элементарных пучках	10
Через один элементарный пучок	11,5
Через два элементарных пучка	12
В элементарных пучках смежных повивов	11
Через 1 повив пучков	13
Через 2 повива пучков	14,5
Через 3 повива пучков	15

Анализ результатов, приведенных в табл. 7.14 и 7.15, доказывает, что при увеличении удаления пар взаимное влияние между ними уменьшается.

Электрические параметры взаимного влияния между парами высокочастотных кабелей местной телефонной сети, кабелей категорий 3, 5 и 5е, ЭКС-ГВПВ-5 4×2×0,52 приведены в табл. 7.16 – 7.18.

**Таблица 7.16** – Электрические параметры взаимного влияния высокочастотных кабелей местной телефонной сети ТППэп3-МЦ, ТБО-ЭЦ, ТППэп3-ЭЦ

Параметры взаимного влияния	Марка кабеля		
	ТППэп3-МЦ	ТПВ-ЭЦ	ТППэп3-ЭЦ
Переходное затухание на ближнем конце, пересчитанное на длину 500 м, на частоте 1024 кГц, дБ, не менее:			
- между парами в одночетверковых кабелях.....	–	60	–
- между парами разных экранированных четверок (модулей).....	90	70	90
Защищенность на дальнем конце, пересчитанная на длину 500 м, на частоте 1024 кГц, дБ, не менее:			
- между парами одной четверки.....	40	40	40
- между парами разных четверок.....	55	40	55

**Таблица 7.17** – Переходное затухание на ближнем конце (NEXT) между парами кабелей категорий 3, 5 и 5е длиной 100 м

Частота, МГц	Переходное затухание на ближнем конце (NEXT), дБ		
	Категория 3	Категория 5	Категория 5е
0,772	43	64	67
1	41	62	65
4	32	53	60
10	26	47	50
16	23	44	47
20	–	42	45
31,25	–	39	42
62,5	–	35	38
100	–	32	35

**Таблица 7.18** – Средние значения параметров влияния в кабеле ЭКС-ГВПВ-5 4×2×0,52 длиной 300 м

Частота, кГц	Средние значения переходного затухания на ближнем конце, дБ		Средние значения защищенности на дальнем конце, дБ	
	между смежными парами	через одну пару	между смежными парами	через одну пару
1	92	95	92,5	97,5
80	88,5	92,5	87	84,5
160	87,5	88,5	81,5	80,5
512	84,5	82,8	71	71
1024	78	78,8	65	68,5
2048	66	72,8	61,5	67,5

В соответствии с действующими нормативами, для телефонной связи могут быть использованы пары кабеля, переходное затухание на ближнем конце  $A_0$  между которыми на частоте 1020 Гц составляет величину, не меньшую 69,5 дБ. Для передачи сигналов дискретной информации нужны пары, которые имеют повышенное значение  $A_0$ .

Допустимые значения переходного затухания на ближнем конце  $A_{0 \text{ доп}}$  (NEXT) и защищенности на дальнем конце  $A_{з \text{ доп}}$  (ELFEXT) кабелей с пучковым построением сердечника определяются по формулам:

$$A_{0 \text{ доп}}(f, m) = 58 - 6 \lg(m - 1) - 15 \lg(f / 300),$$

$$A_{з \text{ доп}}(f, l, m) = 56 - 6 \lg(m - 1) - 20 \lg(f / 300) - 10 \lg(l),$$

где  $f$  – частота, кГц;

$l$  – длина кабеля, км;

$m$  – количество пар кабеля, используемых для организации xDSL-линий;

58 и 56 дБ – отвечают минимально допустимым значениям переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце только для

двух взаимовлияющих пар в элементарном пучке кабеля длиной 1 км на частоте 300 кГц.

### ***Факторы дополнительного влияния между парами кабеля***

Недостаточные однородность, симметрия кабельной пары, а также несогласованность кабельных пар с оборудованием xDSL являются источниками дополнительного воздействия как внешних, так и переходных помех. Для их оценки используют электрические параметры – затухание асимметрии и несогласованности.

*Затухание асимметрии* – затухание синусоидального сигнала при переходе из искусственной цепи, образованной жилами кабеля и «землей», в рабочую пару кабеля; определяется как 20 десятичных логарифмов отношения напряжения на выходе генератора, подключенного между средней точкой на входе рабочей пары и землей (экраном), к напряжению, полученному между средней точкой на выходе рабочей пары и землей (экраном).

В диапазоне частот 8 – 800 кГц величина затухания асимметрии  $A_{ac}$  должна быть не менее

$$A_{ac} \geq 44 - 5 \lg(f / 80),$$

где  $f$  – частота, кГц.

*Затухание несогласованности* – параметр, который характеризует степень несогласованности волнового сопротивления пары с сопротивлением нагрузки, и показывает, во сколько раз отраженная от нагрузки мощность меньше падающей; определяется как 20 десятичных логарифмов отношения модуля суммы входного (выходного) сопротивления пары и сопротивления нагрузки к модулю разницы этих сопротивлений.

Минимальная величина затухания несогласованности пары кабеля в диапазоне частот 50 – 400 кГц составляет не менее 10 дБ при внутреннем сопротивлении измерительного прибора 100 Ом, 13 дБ – при 120 Ом и 15 дБ – при 135 Ом.

## **7.2 Отбор пар в многопарных кабелях местной связи для организации xDSL-линий**

Ниже рассмотрены три подхода к решению вопроса отбора пар для подключения оборудования xDSL. Первый подход, основанный на результатах измерения переходных затуханий на ближнем конце в десятипарном кабеле пучковой скрутки, изложен в подразделе 7.2.1.

Второй подход состоит в определении последовательности загрузки пар многопарного кабеля сигналами xDSL с учетом статистики, описывающей зависимость переходных затуханий от взаимного расположения пар. Другими словами, второй подход основан на расчете уровня помех в каждой паре кабеля с учетом влияния всех остальных взаимовлияющих пар. Критерием выбора первой и последующих пар является минимальное рассчитанное значение уровня помех при воздействии всех остальных пар. При расчетах использовались средние значения переходных затуханий между парами кабелей

с повивной и пучковой скруткой сердечника, приведенные в подразд. 7.1.3. Результаты отбора пар в кабелях с повивной и пучковой скруткой сердечника, выполненного в соответствии со вторым подходом, приведены в подразд. 7.2.2 и 7.2.3 соответственно.

Наконец, третий подход, реализуемый анализаторами сетей абонентского доступа, заключается в том, что в ходе измерений анализатор осуществляет контроль пары по ряду параметров, определяя их соответствие системе норм, охватывающей погонные параметры кабеля, частотные характеристики затухания, согласованности и асимметрии, спектр помех, максимально достижимую скорость передачи и т.д. Результаты контроля позволяют квалифицировать пару как качественно (норма/не норма), так и количественно.

### **7.2.1 Отбор пар в кабелях по результатам измерений переходного затухания на ближнем конце**

Практика оценки пригодности пар кабеля для цифрового уплотнения основана на тестировании пар по результатам измерений электрических параметров пар и характеристик шума.

При малых внешних электромагнитных влияниях основным источником шумов является оборудование xDSL, работающее по соседним парам кабеля. Уровень помех, создаваемый работой оборудования xDSL, определяется переходными затуханиями в кабеле. Наименьшие значения переходных затуханий наблюдаются в десятипарном пучке кабеля.

Для отбора пар в десятипарном кабеле для подключения оборудования xDSL используется устройство автоматического отбора пар ТКП (Тестер кабельных пар). Отбор пар проводится по результатам измерений переходного затухания на ближнем конце между всеми парами пучка в десятипарной распределительной коробке. В приборе реализован алгоритм отбора пар, который включает в себя:

- измерение и сравнение с допустимыми значениями сопротивления шлейфа всех пар;
- вывод на блок индикации номеров пар, которые не отвечают требованиям по сопротивлению шлейфа;
- оценку переходного затухания на ближнем конце между всеми отобранными по сопротивлению шлейфа парами кабеля на соответствие установленному оператором порогу;
- отбор пар, у которых переходное затухание на ближнем конце больше (или равно) установленному оператором порогу;
- вывод на блок индикации номеров отобранных пар.

**Примечание.** *Шлейф пары* – пара токопроводящих жил, закороченная на дальнем конце (жилы соединены между собой).

### 7.2.2 Отбор пар в кабелях с повивным построением сердечника

Представляет интерес определение последовательности подключения оборудования xDSL к парам многопарного кабеля, при которой обеспечивается минимальный суммарный уровень переходных помех на ближнем конце каждой из пар. С этой целью была разработана программа расчета суммарных помех, которая позволила определять порядок загрузки многопарных кабелей. Примеры порядка загрузки некоторых кабелей приведены в табл. 7.19 – 7.22 и на рис. 7.3.

**Таблица 7.19** – Порядок загрузки кабеля пучковой скрутки емкостью 10×2

Номер шага	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер пары	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Таблица 7.20** – Порядок загрузки кабеля повивной скрутки емкостью 10×2

Номер шага	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер пары	3	7	0	0	5	1	2	6	4	8

**Примечание.** Порядок загрузки состоит из шагов и представляет собой очередность отбора пар кабеля для подключения оборудования xDSL. На первом шаге выбирается та пара кабеля, в которой по результатам расчета воздействия всех окружающих пар уровень помехи должен быть минимальным. Так, например, для кабеля с повивной скруткой сердечника емкостью 10×2 на первом шаге выбирается пара № 3. В случае необходимости выбора второй и третьей пар для подключения оборудования xDSL в этом же кабеле в соответствии с табл. 7.20 выбираются пары №7 и №0.

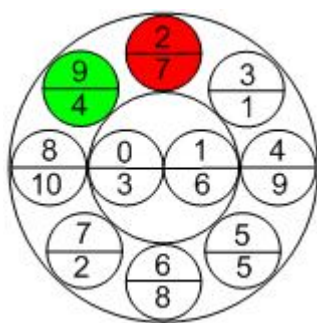
**Таблица 7.21** – Порядок загрузки кабеля пучковой скрутки емкостью 20×2

Номер шага	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер пары	0	10	1	11	2	12	3	13	4	14	5	15	6	16	7	17	8	18	9	19

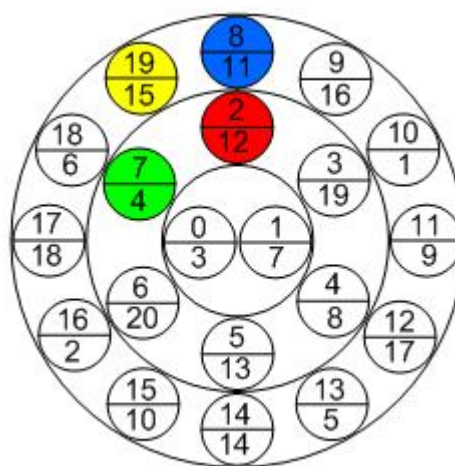
**Таблица 7.22** – Порядок загрузки кабеля повивной скрутки емкостью 20×2

Номер шага	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер пары	10	16	0	7	13	18	1	4	11	15	8	2	5	14	19	9	12	17	3	6

На рис. 7.3 в кружках малого диаметра, которые символизируют пары, вписано два числа. Число в числителе обозначает номер пары, а в знаменателе – очередность подключения пары к оборудованию xDSL. Цвет направляющих и счетных пар в повивах приведен произвольно.



а)



б)

**Рисунок 7.3** – Порядок загрузки кабеля повивной скрутки сердечника емкостью 10 пар (а), 20 пар (б)

В кабелях емкостью более 100 пар отбор пар производится по следующему правилу:

1) если необходимое количество пар для подключения xDSL-оборудования не превышает количества повивов в сердечнике кабеля, то пары выбирают по одной паре в повиве так, чтобы ближайшие используемые повивы располагались на максимальном расстоянии друг от друга;

2) если необходимое количество пар для подключения xDSL-оборудования больше количества повивов в сердечнике кабеля, то сначала выбирают по одной паре в каждом повиве, а затем выбирают оставшиеся пары на максимальном расстоянии друг от друга внутри повивов.

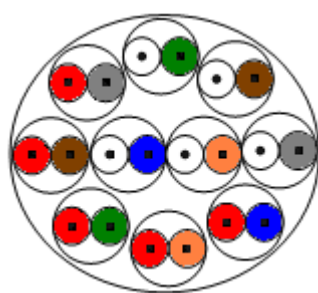
### 7.2.3 Отбор пар в кабелях с пучковым построением сердечника

Цвета изоляции жил одной пары кабеля отличаются друг от друга. Отдельные пары скручиваются в пяти- или десятипарные (элементарные) пучки. Описание расцветки изоляции жил в элементарном пучке, скрепляющих обмоток или идентификационных лент в пятидесятипарных или стопарных (главных) пучках приведено в табл. 7.23.

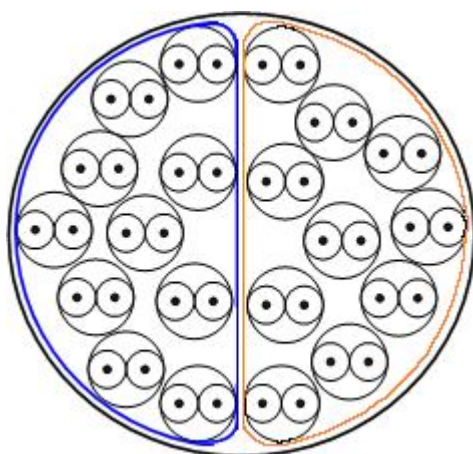
На рис. 7.4 приведены условные поперечные сечения сердечника кабелей емкостью 10, 20, 30 пар с пучковым способом построения. Поперечное сечение сердечника кабеля изображается набором секторов, цвет которых совпадает с цветом скрепляющей ленты. Цвета скрепляющих обмоток или идентификационных лент приведены в табл. 7.23.

**Таблица 7.23** – Расцветка изоляции жил в элементарном пучке и пучков в 100-парном кабеле или главных пучках

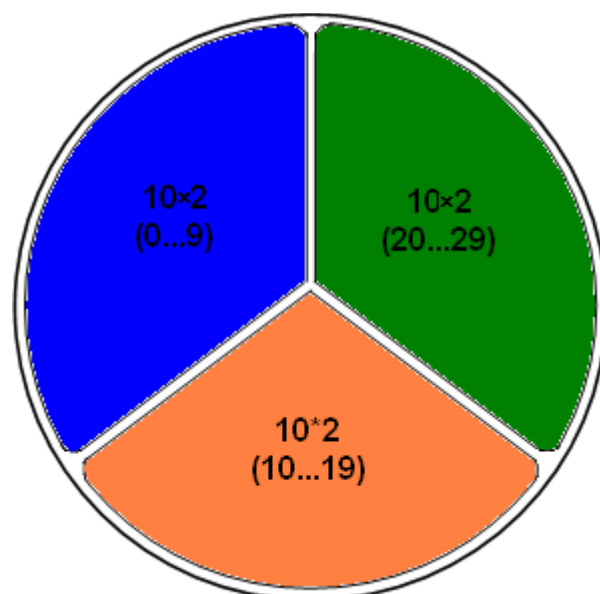
Номер пары/ элементарного пучка	Цвет		
	изоляции жил пары		скрепляющей обмотки или идентификационной ленты
	<i>a</i>	<i>б</i>	
0	белый	голубой (синий)	голубой
1	белый	оранжевый	оранжевый
2	белый	зеленый	зеленый
3	белый	коричневый	коричневый
4	белый	серый	серый
5	красный	голубой (синий)	белый
6	красный	оранжевый	красный
7	красный	зеленый	черный
8	красный	коричневый	желтый
9	красный	серый	фиолетовый



*a)*



*б)*



*в)*

**Рисунок 7.4** – Поперечное сечение сердечника кабеля пучковой скрутки емкостью 10 пар (*a*), 20 пар (*б*) и 30 пар (*в*)

Для определения места расположения искомой пары в поперечном сечении кабеля с пучковым способом построения сердечника необходимо



сначала выбрать требуемое поперечное сечение кабеля, затем сектор поперечного сечения (элементарный пучок), в котором оказалась искомая пара, а далее определить цвет изоляции жил искомой пары (табл. 7.23).

В кабелях емкостью более 100 пар отбор пар выполняется согласно следующим правилам:

1) если необходимое количество пар для подключения xDSL-оборудования меньше количества пучков в сердечнике кабеля, то пары выбирают по одной паре в пучке так, чтобы ближайшие используемые пучки располагались на максимальном расстоянии друг от друга;

2) если необходимое количество пар для подключения xDSL-оборудования больше количества пучков в сердечнике кабеля, то пары выбирают равномерно по всем пучкам.

### **Вопросы для закрепления**

1. Чем отличаются между собой кабели ГТС?
2. Как и почему кабели ГТС влияют на дальность работы СП и скорость передачи цифрового потока?
3. Какая связь между дальностью и скоростью работы СП по кабелям ГТС?
4. Почему в научно-технической литературе приведены средние значения электрических параметров кабелей связи и к чему это приводит?
5. Какие достоинства и недостатки методов отбора пар в многопарных кабелях ГТС?
6. Чем отличается методика отбора пар в кабелях с пучковым и повивным способом построения сердечника?

## 8 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ xDSL

### 8.1 Потенциальные характеристики СП ADSL и VDSL при равномерном аддитивном шуме на входе приемника

Под потенциальными характеристиками цифровых абонентских линий понимают полученные расчетным путем зависимости скорости передачи по xDSL-линии от типа оборудования xDSL, типа телефонного кабеля, длины абонентской линии и спектра аддитивных помех на входе приемника. Данный подраздел посвящен потенциальным характеристикам СП ADSL и VDSL при равномерной по частоте спектральной плотности мощности аддитивных помех на входе приемника. Предполагается, что в состав этих помех могут входить различного рода помехи и шумы от различных источников, в том числе и переходные помехи между парами многопарных кабелей.

Приведенные в настоящем разделе графики потенциальных характеристик для СП ADSL и VDSL рассчитаны по методике, изложенной ниже.

Суммарная скорость передачи  $R$  по xDSL-линии состоит из скоростей передачи по всем DMT-несущим. Число несущих  $n$  и количество передаваемых на каждой несущей битов информации  $b(i)$  задаются адаптивно в зависимости от характеристик канала связи, что определяет как скорость передачи, так и занимаемую полосу частот канала.

$$R = 4000 \sum_{i=l_1}^{l_2} b(i), \quad (8.1)$$

где  $i$  – номер несущей, соответствующей частоте  $i \cdot 4,3125$  кГц;  
 $l_1$  и  $l_2$  – номера первой и последней из используемых несущих;  
4000 – число информационных кадров в секунду.

Максимальное количество  $b(i)$  передаваемых в течение посылки на  $i$ -й несущей битов информации связано с отношением сигнал/шум  $SNR(i)$  на частоте  $i$ -й несущей и вероятностью ошибки  $p$  на выходе приемника соотношением [4, 5]:

$$b(i) = \text{floor} \left\{ \log_2 \left( 1 + \frac{3 SNR(i)}{h^2} \right) \right\}, \quad (8.2)$$

где  $\text{floor}\{x\}$  – операция отбрасывания дробной части числа  $x$ ,  
 $h$  – отношение "полурасстояния" между ближайшими точками сигнального созвездия к среднеквадратическому значению гауссовского шума в  $i$ -м канале модема.

Величина  $h$  рассчитывается по формуле:

$$h = Q^{-1} \left( \frac{p}{1,7} \right), \quad (8.3)$$

где  $Q^{-1}(x)$  – функция, обратная  $Q(x)$ ,  $Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$ .

**Примечание.** При  $p = 10^{-7}$   $h \approx 5,3$ .

Однако надо учесть, что в системах ADSL и VDSL [32-38] скорость передачи информации должна быть кратна 32 кбит/с, поэтому правую часть формулы (8.1) требуется округлить в меньшую сторону до ближайшего кратного 32 кбит/с:

$$R = 32 \cdot \text{floor} \left\{ \frac{4000 \sum_{i=l_1}^{l_2} b(i)}{32000} \right\} \text{кбит/с}. \quad (8.4)$$

Отношение сигнал/помеха на входе приемника на частоте  $i$ -й несущей:

$$SNR(i) = 10^{0,1(PSD(i) - A(i) - N(i))},$$

где  $PSD(i)$  – номинальная спектральная плотность мощности передаваемого сигнала на частоте  $i$ -й несущей,

$A(i)$  – затухание на частоте  $i$ -й несущей, которое определяется частотной характеристикой абонентского кабеля (километрическим затуханием и длиной кабеля),

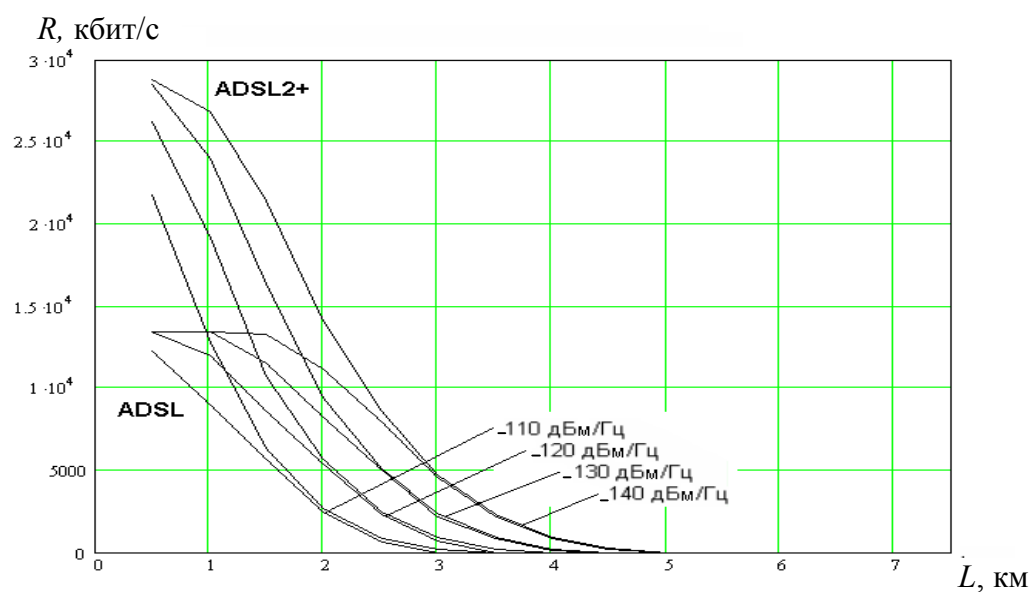
$N(i)$  – спектральная плотность мощности помехи на частоте  $i$ -й несущей на входе приемника.

В оборудовании xDSL количество битов  $b(i)$  устанавливается обычно несколько ниже максимального, определяемого формулой (8.2), с целью недопущения разрыва соединения вследствие непредсказуемого изменения уровня помех. Поэтому в расчетах необходимо учесть запас помехозащищенности (SNR margin)  $\Delta SNR(i)$ , и в формулу (8.2) подставляется

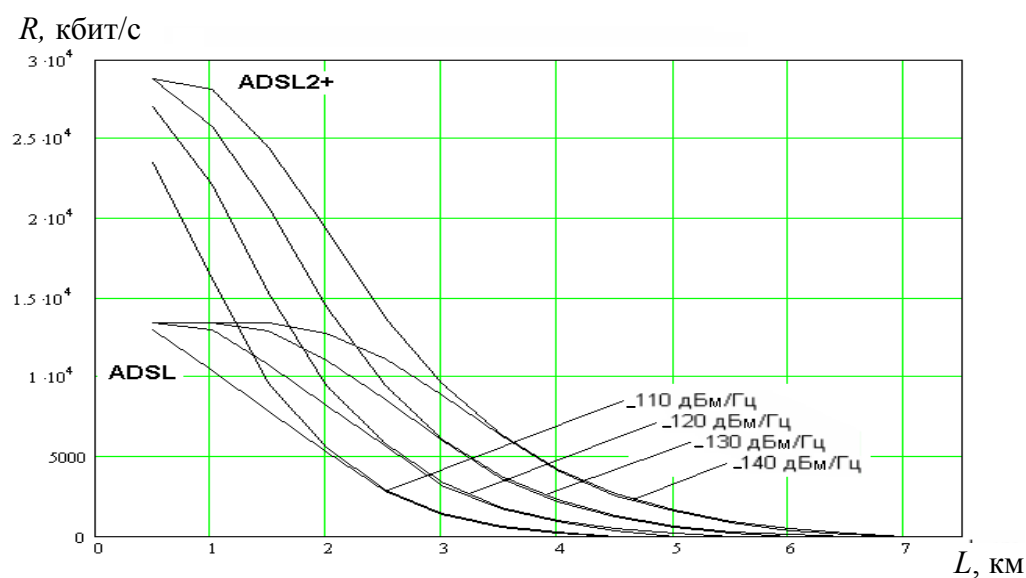
$$SNR(i) = 10^{0,1(PSD(i) - A(i) - N(i) - \Delta SNR(i))}.$$

Итак, зная отношение сигнал/помеха на входе приемника и задавшись требуемой вероятностью ошибки  $p$ , можно определить количество передаваемых в течение посылки на  $i$ -й несущей битов информации  $b(i)$ , а затем и суммарную скорость передачи информации по конкретной линии.

Некоторые результаты расчетов достижимых скоростей передачи xDSL-линией по описанной методике приведены в виде графиков на рис. 8.1 – 8.4. Расчеты проведены для случая равномерной по частоте спектральной плотности мощности помех и  $p = 10^{-7}$ .

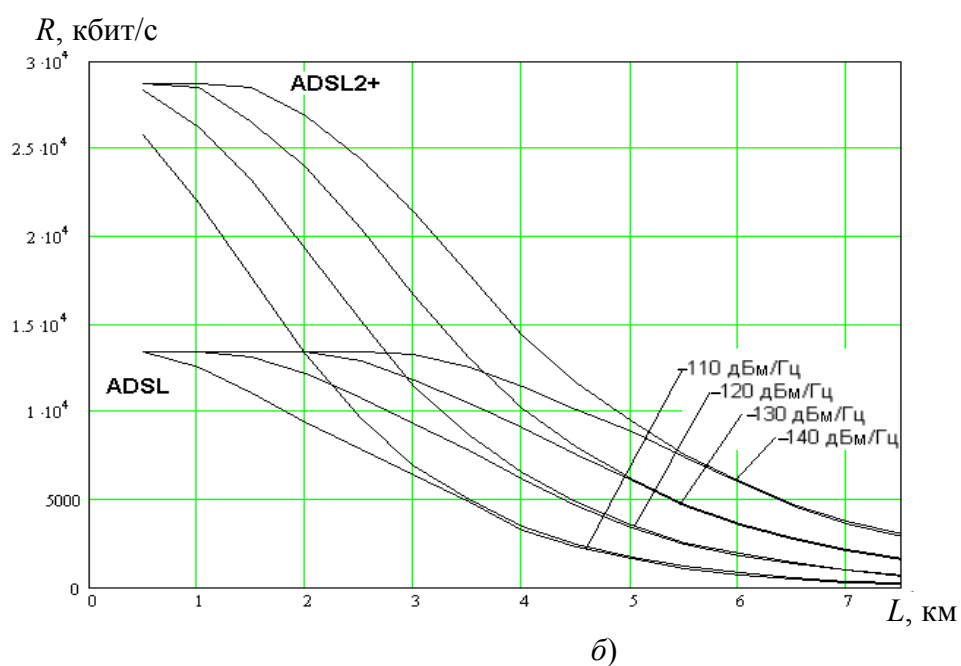
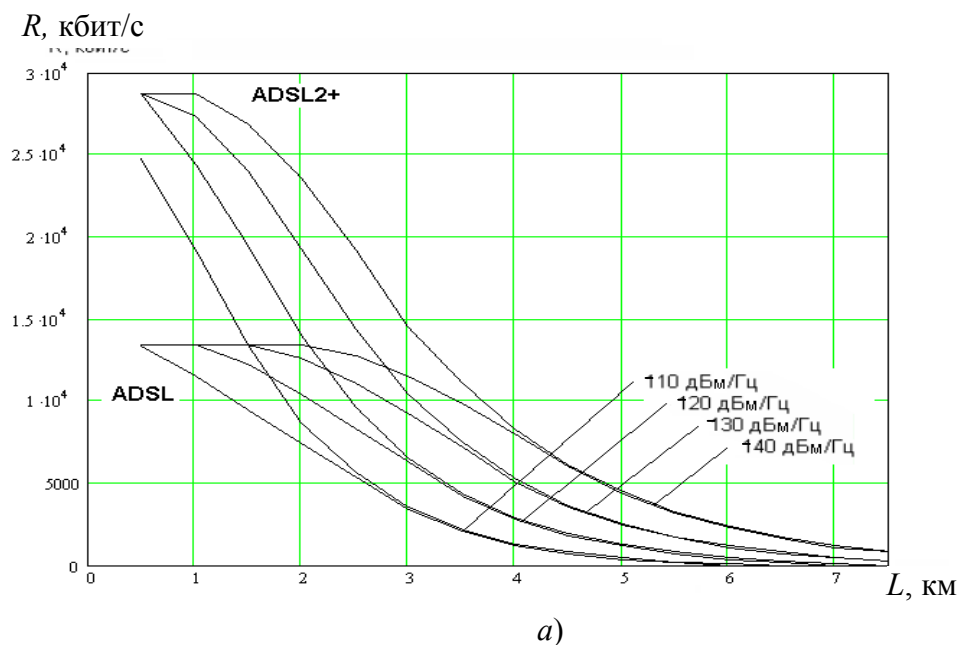


а)

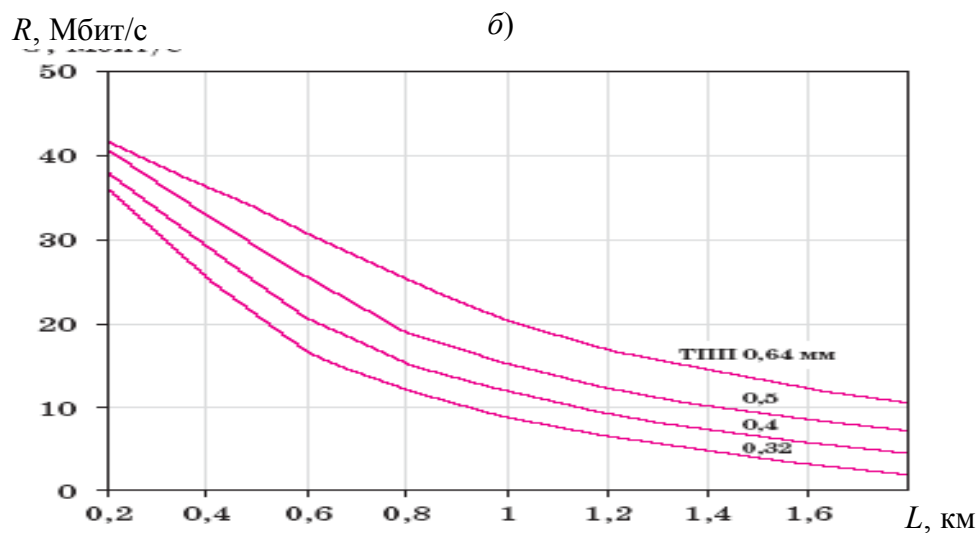
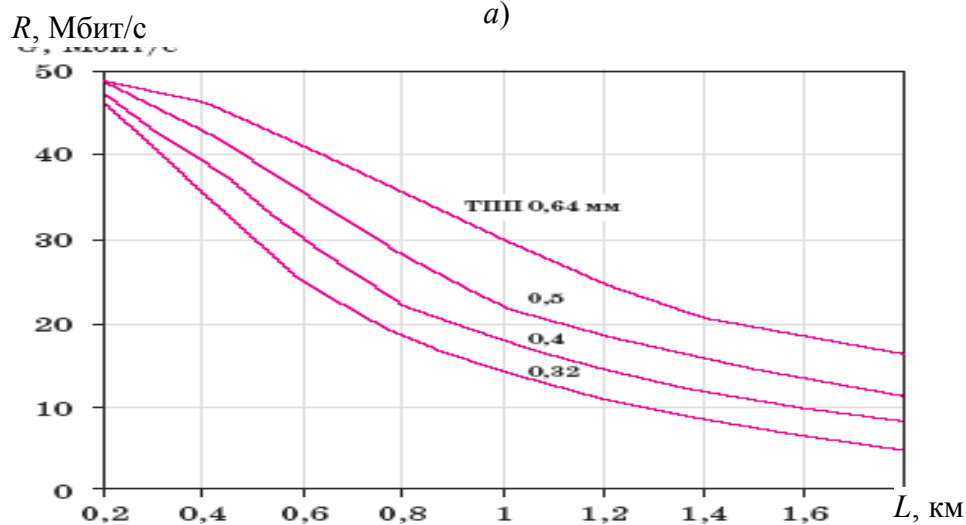
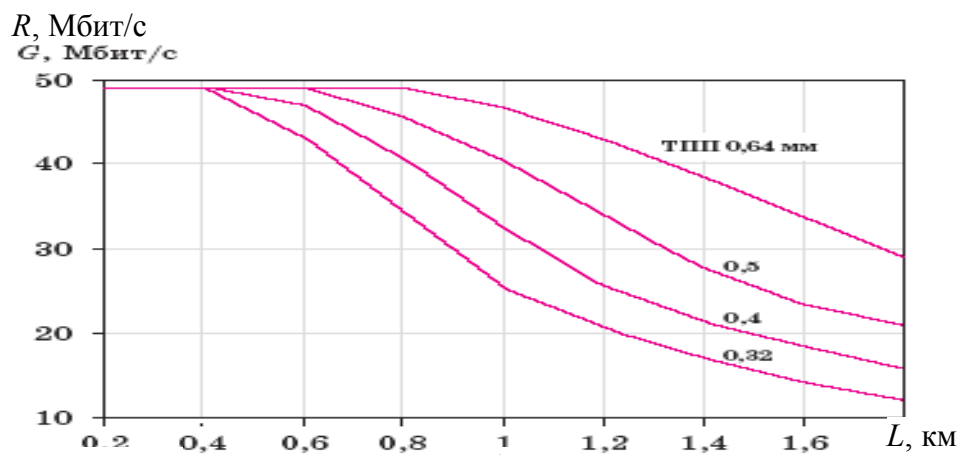


б)

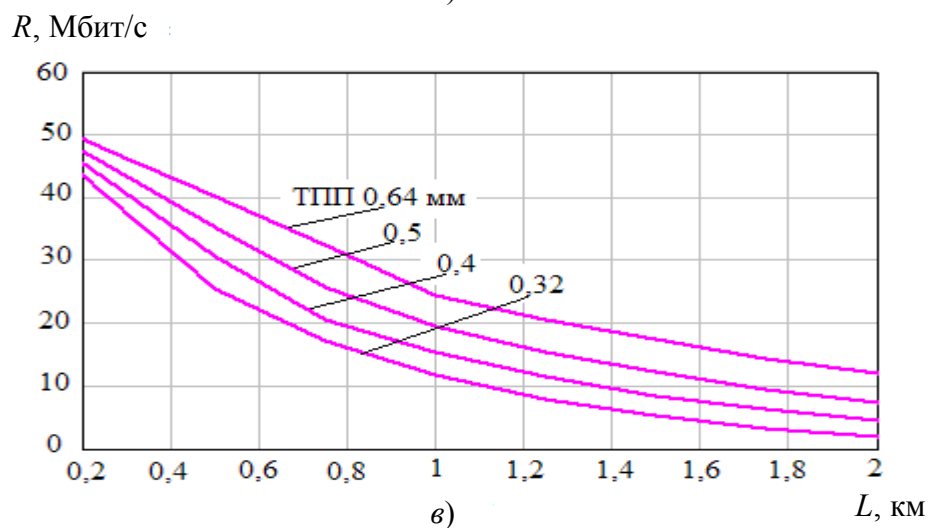
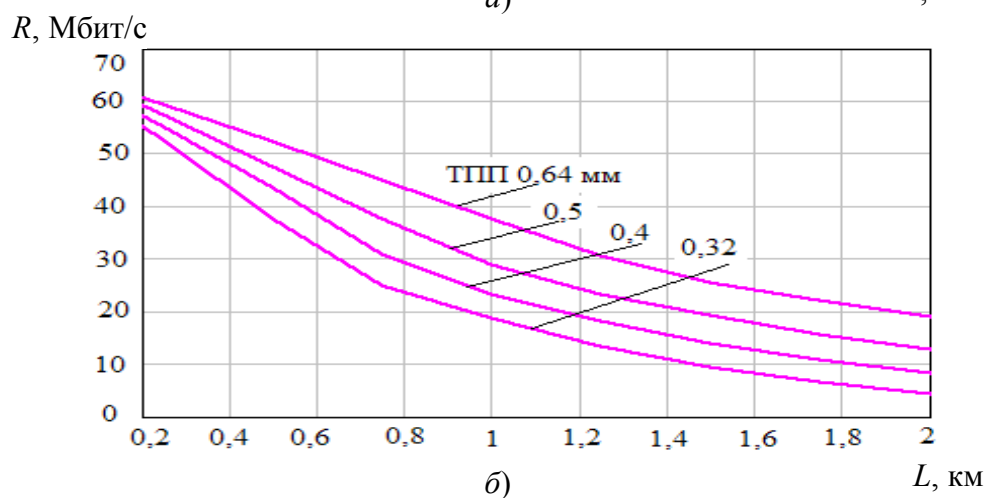
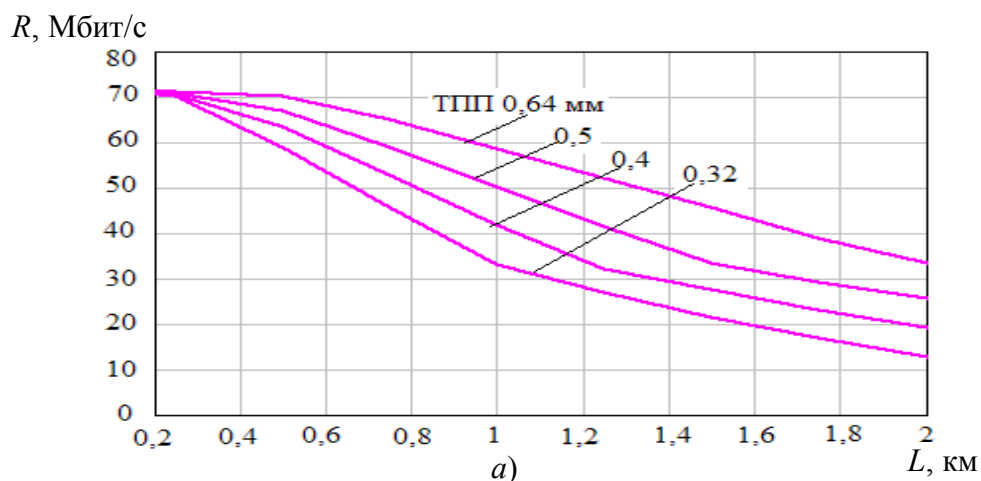
**Рисунок 8.1** – Зависимость скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметром жил 0,32 мм (а) и 0,4 мм (б) при различной спектральной плотности мощности помех на входе приемника ADSL и ADSL2 +



**Рисунок 8.2** – Зависимость скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметром жил 0,5 мм (а) и 0,64 мм (б) при различной спектральной плотности мощности помех на входе приемника ADSL и ADSL2 +



**Рисунок 8.3** – Зависимость скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметрами жил 032; 0,4; 0,5 и 0,64 мм при спектральной плотности мощности помех на входе приемника VDSL (план частот В) минус 140 дБм/Гц (а), минус 120 дБм/Гц (б) и минус 110 дБм/Гц (в)



**Рисунок 8.4** – Зависимость скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметрами жил 0,32; 0,4; 0,5 и 0,64 мм при спектральной плотности мощности помех на входе приемника VDSL2 (план частот В) минус 140 дБм/Гц (а), минус 120 дБм/Гц (б) и минус 110 дБм/Гц (в)

СП ADSL2 характеризуется такой же, как и ADSL, маской мощности передаваемого сигнала. Поэтому результаты расчетов по описанной методике для СП ADSL, приведенные на рис. 8.1 – 8.2, справедливы и для ADSL2.

## 8.2 Оценка потенциальных характеристик цифровых абонентских линий на многопарных телефонных кабелях

Одним из основных факторов, которые ограничивают скорость и дальность передачи по абонентским линиям, являются переходные влияния при параллельной работе цифровых абонентских линий (ЦАЛ) по многопарным телефонным кабелям. Для иллюстрации алгоритма расчета переходных влияний между ЦАЛ приведен рис. 8.5, на котором схематично изображены две влияющие ЦАЛ ( $DSL_i$  и  $DSL_j$ ), и одна ЦАЛ, подверженная влиянию ( $DSL_k$ ). Мощность сигнала, поступающая на вход  $i$ -й DSL, обозначенная  $P_{i \text{ пер}}$ . На вход приемника  $DSL_k$  приходит ослабленный в линии связи собственный полезный сигнал мощностью  $P_{k \text{ пр}}$  и переходные помехи от ближнего ( $P_{\text{бл},i,k}$ ,  $P_{\text{бл},j,k}$ ) и дальнего ( $P_{\text{д},i,k}$  и  $P_{\text{д},j,k}$ ) концов, вызванные передаваемыми сигналами  $DSL_i$  и  $DSL_j$ .

Отношение сигнал/шум на входе приемника  $k$ -ой DSL определяется выражением:

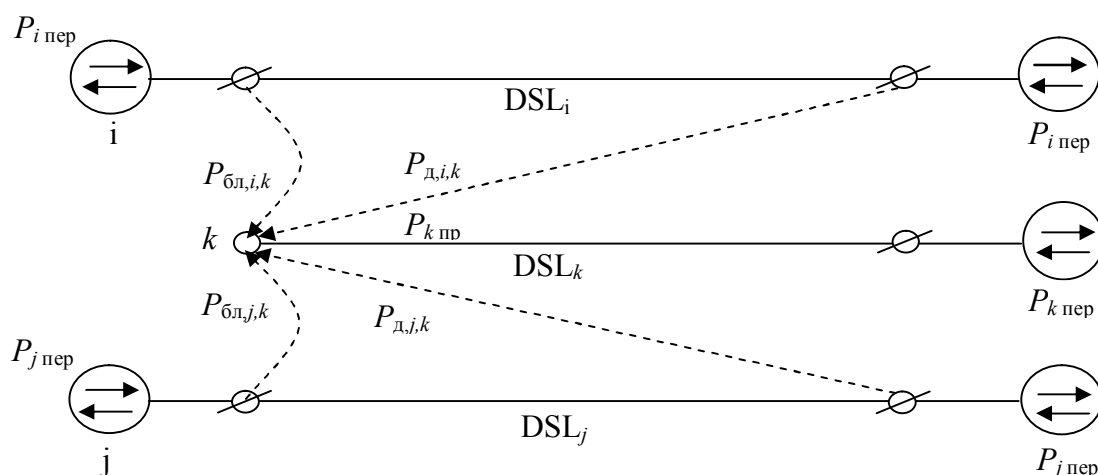
$$SNR_k = 10 \lg \frac{P_{k \text{ пр}}}{\sum_{i, i \neq k} P_{\text{бл},i,k} + \sum_{i, i \neq k} P_{\text{д},i,k} + \sum_m n_m},$$

где  $P_{k \text{ пр}} = \int PSD_k(f) \cdot H^2(f) df$ ;

$PSD_k(f)$  – зависимость спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика  $k$ -ой DSL от частоты;

$H(f)$  – амплитудно-частотная характеристика канала связи;

$\sum_m n_m$  – сумма всех других помех  $n_m$ , действующих на входе приемника  $DSL_k$ .



**Рисунок 8.5** – Модель электромагнитных взаимодействий DSL в многопарном кабеле

Величины  $P_{\text{бл},i,k}$  и  $P_{\text{д},i,k}$  определяются аналогично  $P_{k \text{ пр}}$  по формулам, в которых  $H^2(f)$  заменены на частотные функции переходных характеристик

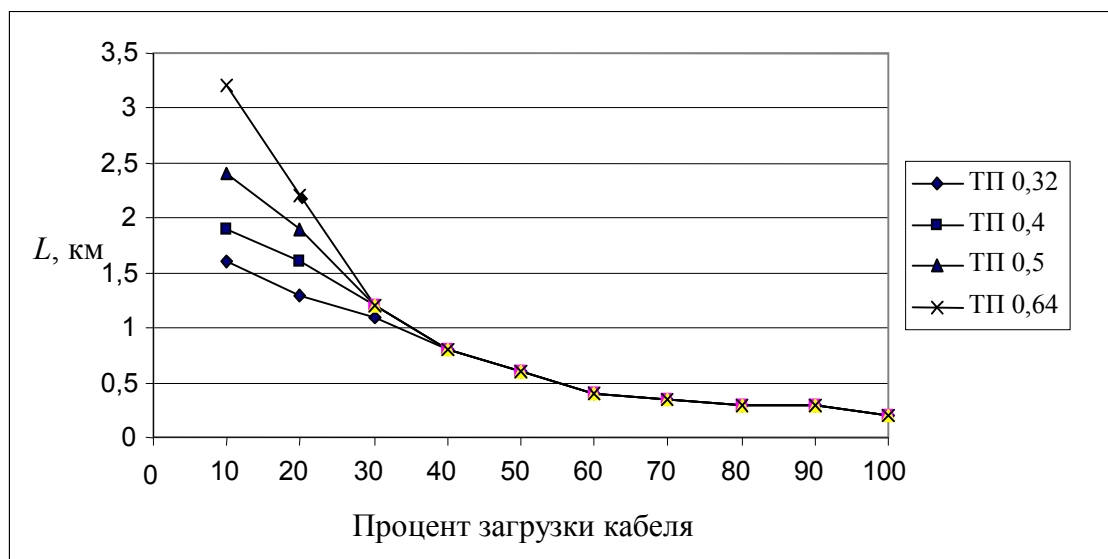


между  $i$ -ой и  $k$ -ой парами на ближнем и дальнем концах  $H_{\text{бл},i,k}(f)$  и  $H_{\text{д},i,k}(f)$  соответственно:

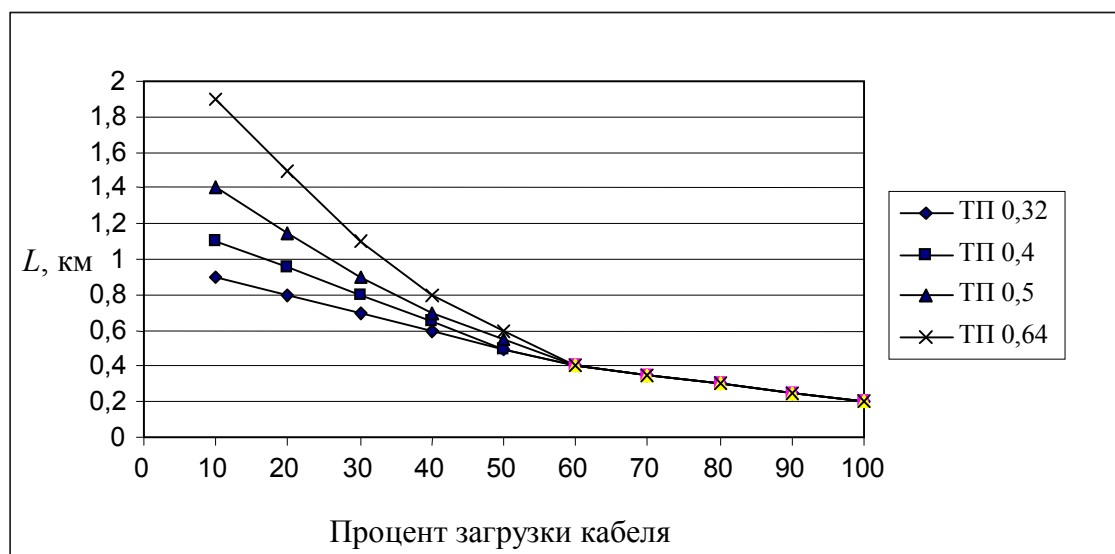
$$P_{\text{бл},i,k} = \int PSD_i(f) \cdot H_{\text{бл},i,k}^2(f) df.$$

По приведенной модели электромагнитной совместимости была разработана программа «xDSL-Liner» для расчета длины и скорости передачи в восходящем и нисходящем направлениях цифровыми абонентскими линиями при различных вариантах xDSL-оборудования, загрузки, уровня шума, числа пар, диаметра жил, применения однородного и неоднородного (составного) кабеля. На рис. 8.6 – 8.14 приведены результаты расчетов предельной длины линии ADSL2+ при использовании 10-парных кабелей типа ТП пучковой скрутки сердечника с диаметрами жил 0,32; 0,4; 0,5 и 0,64 мм для различных уровней спектральной плотности мощности (СПМ) белого шума на входе приемника и различных заданных скоростей передачи в зависимости от процента пар кабеля, использованных для передачи сигналов ADSL2+.

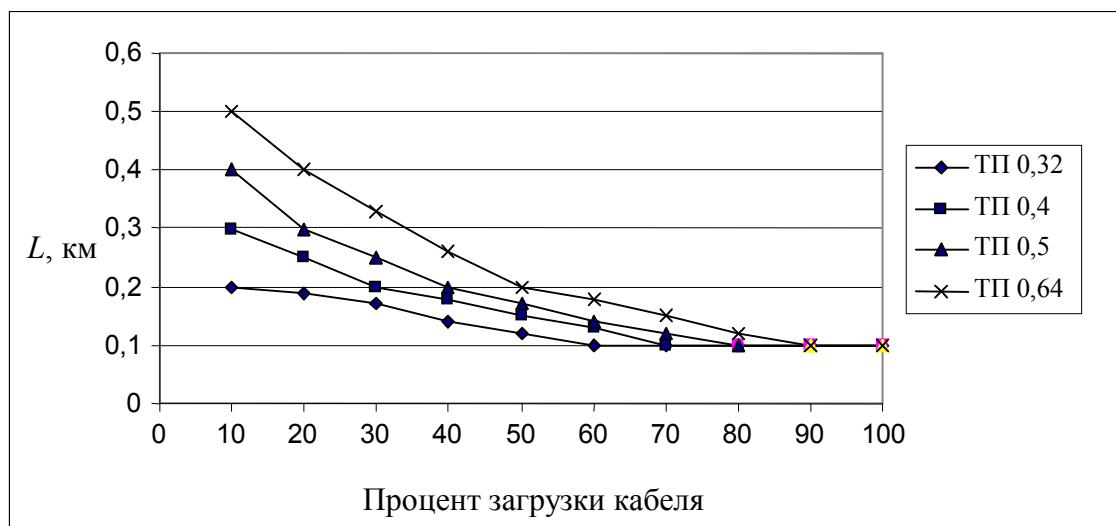
Результаты расчетов подтверждают известный факт уменьшения предельной длины линии ADSL2+ при увеличении процента нагрузки кабеля. Причем чем больше СПМ шума, тем менее выраженной является эта зависимость – это следует из сравнения рис. 8.6, 8.7 и 8.8 (равно как и из сравнения рис. 8.9, 8.10 и 8.11 и рис. 8.12, 8.13 и 8.14). Такая закономерность объясняется тем, что при увеличении СПМ шума «удельный вес» переходных помех в суммарной помехе, которая представляет собой сумму переходных помех и белого шума, уменьшается. Таким же образом уменьшается доля переходных помех в суммарной помехе при уменьшении требуемой (заданной) скорости передачи, поскольку меньшей скорости передачи отвечает большая предельная длина линии, а переходные помехи на дальнем конце, как следует из п. 7.1.3, уменьшаются с увеличением длины линии. Соответственно и скорость уменьшения предельной длины линии ADSL2+ при возрастании процента загрузки кабеля падает. Это видно из рис. 8.6, 8.9 и 8.12 (так же как и из рис. 8.7, 8.10 и 8.13 и рис. 8.8, 8.11 и 8.14).



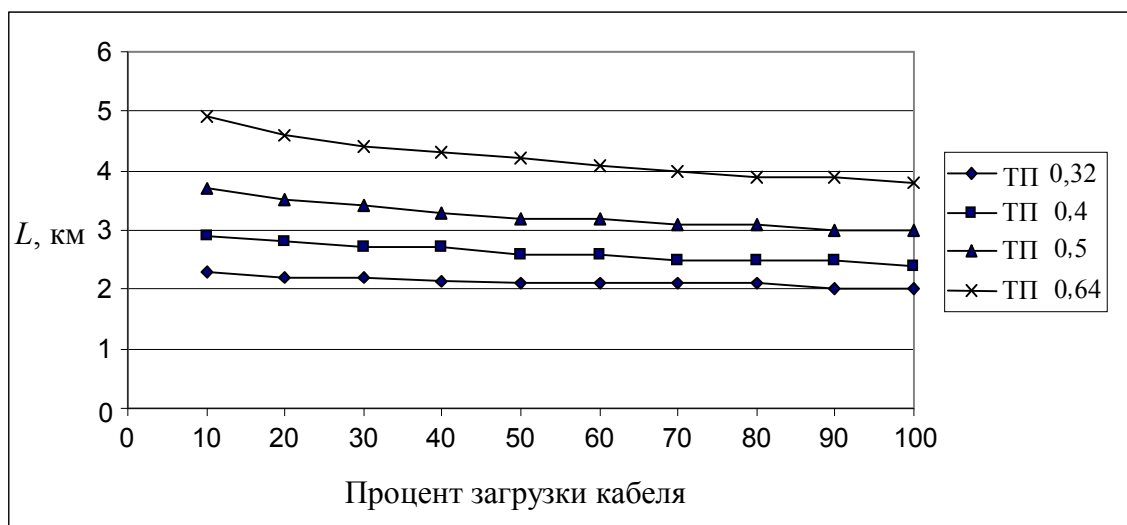
**Рисунок 8.6** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 19648 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



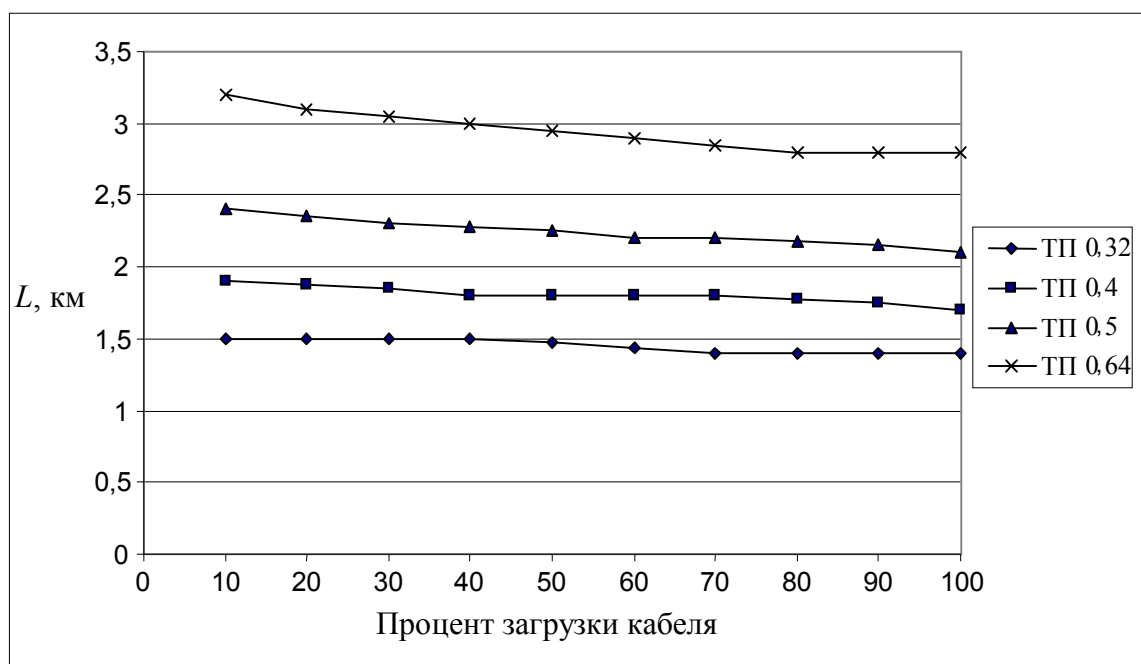
**Рисунок 8.7** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 19648 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 120 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



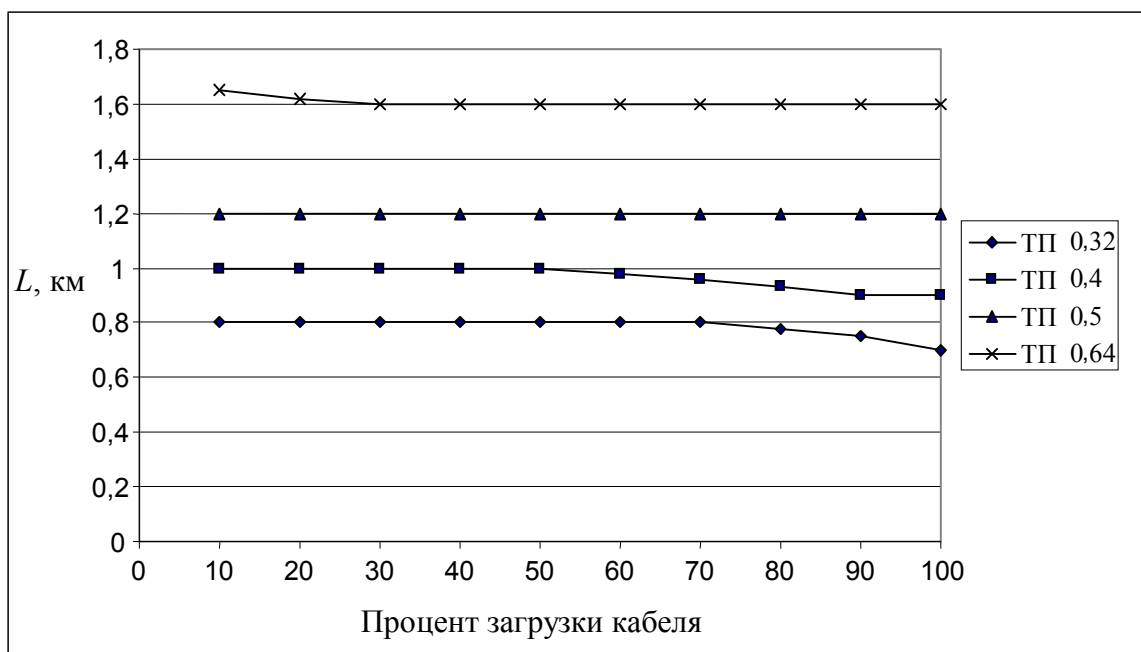
**Рисунок 8.8** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 19648 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 100 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



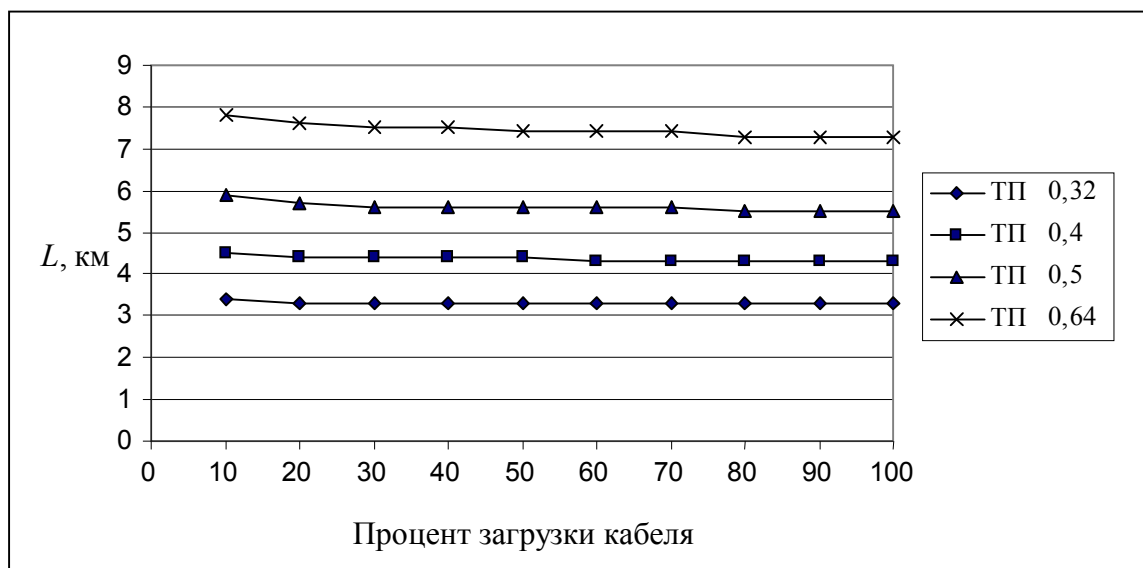
**Рисунок 8.9** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 9824 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



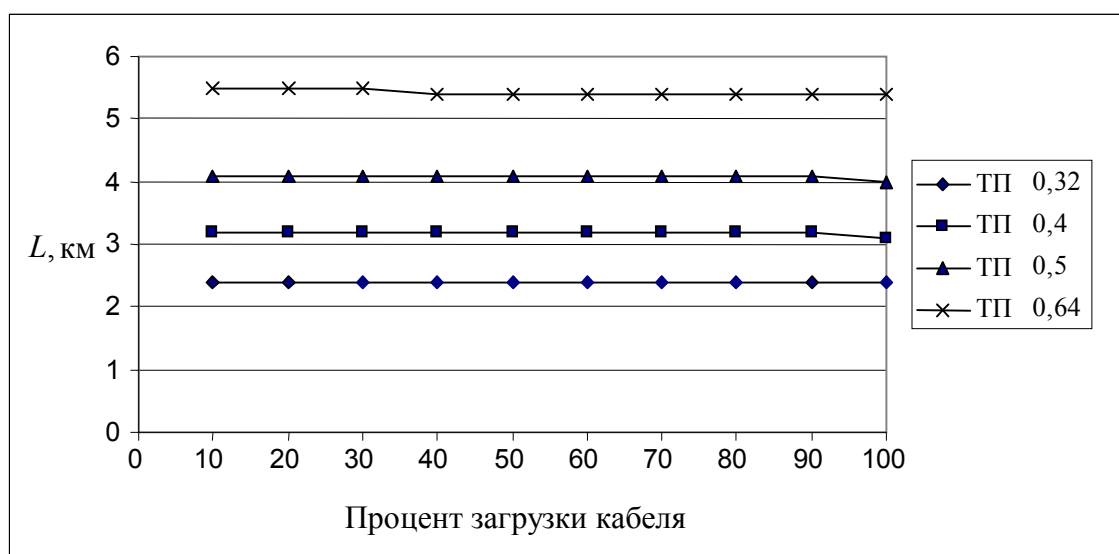
**Рисунок 8.10** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 9824 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 120 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



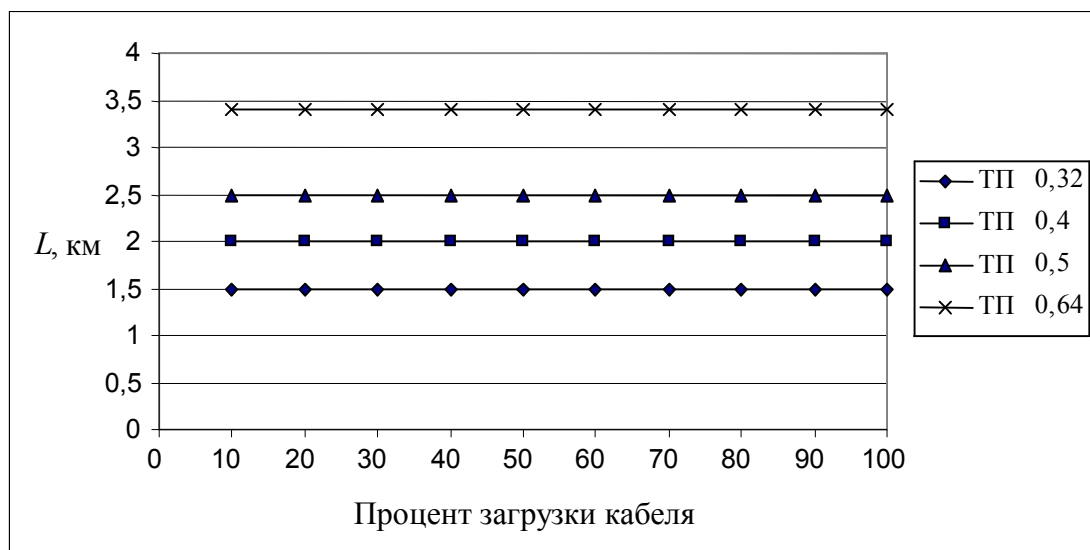
**Рисунок 8.11** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 9824 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 100 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



**Рисунок 8.12** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 2464 кбит/с в нисходящем направлении и 608 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



**Рисунок 8.13** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 2464 кбит/с в нисходящем направлении и 608 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 120 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



**Рисунок 8.14** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 2464 кбит/с в нисходящем направлении и 608 кбит/с – в восходящем при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 100 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+

Также результаты расчетов подтверждают известный факт зависимости дальности передачи от диаметра жил кабеля: с ростом диаметра жил дальность передачи также возрастает (рис. 8.6 – 8.14). Однако при небольших длинах кабеля и проценте загрузки кабеля системами передачи ADSL2+ более 40 % предельная (достижимая) длина линий ADSL2+ не зависит от диаметра жил кабеля. Это объясняется тем, что самой мощной помехой для СП ADSL2+ в случае небольших длин кабеля являются переходные помехи на дальнем конце, а переходные помехи на дальнем конце не зависят от диаметра жил кабеля.

### **Вопрос для закрепления**

1. Какими ограничениями определяется число битов информации на несущую?
2. Пояснить характер графиков рис. 8.1 – 8.2.
3. Какие помехи возникают в кабелях телефонной сети?
4. Пояснить характер графиков рис. 8.6 – 8.8, 8.9 – 8.11, 8.12 – 8.13.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АВУ	—	абонентское высокочастотное устройство
АИМ	—	амплитудно-импульсная модуляция
АЛ	—	абонентская линия
АМ	—	амплитудная модуляция
АРУ	—	автоматическая регулировка усиления
АТС	—	автоматическая телефонная станция
АЧХ	—	амплитудно-частотная характеристика
ГТС	—	городская телефонная сеть
дБм	—	абсолютный уровень сигнала по мощности, в децибелах
ДПФ	—	дискретное преобразование Фурье
ДС	—	дифференциальная система
ЗПП	—	зона прямого питания
ИР	—	импульсная реакция
КАМ	—	квадратурная амплитудная модуляция
КРОС	—	корректор с решающей обратной связью
МСЭ-Т	—	сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи
ОДПФ	—	обратное дискретное преобразование Фурье
ПДПФ	—	прямое дискретное преобразование Фурье
ПКК	—	прямое корректирующее кодирование
ПФ	—	передаточная функция
ПФ	—	полосовой фильтр
РАТС	—	районная автоматическая телефонная станция
РК	—	распределительная коробка
РШ	—	распределительный шкаф
СКК	—	сигнально-кодовая конструкция
СКС	—	структурированная кабельная система
СЛ	—	соединительная линия
СП	—	система передачи
СП ОГС	—	СП ортогональными гармоническими сигналами
СП ОС	—	СП ортогональными сигналами
СПМ	—	спектральная плотность мощности
ТфОП	—	телефонная сеть общего пользования
УАТС	—	учрежденческая АТС
ФВЧ	—	фильтр верхних частот
ФМ	—	фазовая модуляция
ФНЧ	—	фильтр нижних частот
ФЧХ	—	фазочастотная характеристика
ЦАЛ	—	цифровая абонентская линия
ЧМ	—	частотная модуляция
ШД	—	широкополосный доступ
ЭК	—	эхокомпенсатор

ADSL	– Asymmetrical Digital Subscriber Line	– асимметричная цифровая абонентская линия
AOC	– ADSL Overhead Control Channel	– служебный канал управления ADSL
ATM	– Asynchronous Transfer Mode	– асинхронный режим передачи
ATU-C	– ADSL Transceiver Unit-Central Office End	– приемник-передатчик ADSL на станционной стороне
ATU-R	– ADSL Transceiver Unit-Remote Terminal End	– приемник-передатчик ADSL на стороне абонента
CRC	– Cyclic Redundancy Check	– циклическая избыточная проверка
DMT	– Discrete MultiTone	– дискретная многотоновая передача (модуляция)
DSL	– Digital Subscriber Line	– цифровая абонентская линия
EOC	– Embedded Operations Channel	– встроенный рабочий канал
ETSI	– European Telecommunications Standards Institute	– Европейский институт стандартов электросвязи
HDSL	– High bit rate Digital Subscriber Line	– высокоскоростная цифровая абонентская линия
HDTV	– High Definition TeleVision	– телевидение высокой четкости
IEC	– International Electrotechnical Commission	– Международная электротехническая комиссия
ISDN	– Integrated Services Digital Network	– цифровая сеть с интеграцией служб
ISO	– International Standardization Organization	– Международная организация по стандартизации
NT	– Network Termination	– сетевое окончание
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing	– мультиплексирование с ортогональным частотным разделением
PHY	– PHYsical layer	– физический уровень
PSD	– Power Spectral Density	– спектральная плотность мощности
SHDSL	– Single-pair High-speed Digital Subscriber Line	– однопарная высокоскоростная цифровая абонентская линия
SNI	– ServiceNode Interface	– интерфейс узла услуг
SRU	– SHDSL Repeater Unit	– ретранслятор SHDSL
STU-C	– SHDSL Transceiver Unit at the Central Office	– приемопередатчик SHDSL на станционной стороне
STU-R	– SHDSL Transceiver Unit - Remote terminal end	– приемопередатчик SHDSL на стороне пользователя
TA	– Terminal Adapter	– терминальный адаптер
TCM	– Trellis Coded Modulation	– модуляция с решетчатым кодированием



TCPAM	– Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation	– амплитудно-импульсная модуляция с решетчатым кодированием
VDSL	– Very high speed Digital Subscriber Line	– сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия
VTU-O	– VDSL(2) Transceiver Unit at the Optical network unit	– приемопередатчик VDSL(2) на оптическом сетевом узле
VTU-R	– VDSL(2) Transceiver Unit at the Remote site	– приемопередатчик VDSL(2) на стороне пользователя
xDSL	– xDigital Subscriber Line	– цифровая абонентская линия х-типа
XNI	– Access Network Interface	– интерфейс сети доступа
2B1Q	– 2-Binary, 1-Quaternary	– линейный четырехуровневый код, в котором пара двоичных символов кодируется в один из четырех уровней сигнала

## ГЛОССАРИЙ

### абонент

Пользователь телекоммуникационными услугами, с которым поставщик услуг заключил договор на предоставление таких услуг

en subscriber

ukr абонент

Користувач телекомунікаційними послугами, з яким постачальником послуг укладено договір на надання таких послуг

### абонентская линия

#### АЛ

Линия кабельная, проводная или радиотелефонная, соединяющая терминал (или оборудование) абонента с узлом доступа

en subscriber line

ukr абонентська лінія

#### АЛ

Лінія кабельна, проводова або радіотелефонна, що з'єднує термінал (або обладнання) абонента з вузлом доступу

### абонентская проводка

Участок абонентской линии от распределительной коробки до телефонной розетки абонента

ukr абонентська проводка

Ділянка абонентської лінії від розподільної коробки до телефонної розетки абонента

### авторизация

Процесс проверки прав доступа объекта (пользователя, устройства, программы и т.д.) в процессе его обращения к ресурсам системы и предоставления ему возможности доступа к этим ресурсам в соответствии с установленными правами. Выполняется после успешной аутентификации

en authorization

ukr авторизація

Процес перевіряння прав доступу об'єкта (користувача, пристрою, програми тощо) у процесі його звертання до ресурсів систем і надання йому можливості доступу до цих ресурсів згідно з установленними правами. Виконується після успішної автентифікації

**адрес**

Уникальный номер или символическое имя, присвоенное сети, узлу или сетевому устройству, чтобы другие сети или устройства могли распознать его в процессе обмена информацией

**Примечание.** Адреса бывают логическими (символическими или условными), физическими (аппаратными) или сетевыми

en address

ukr адреса

Унікальний номер або символічне ім'я, що надається мережі, вузлу або мережному пристрою, щоб інші мережі, вузли або пристрої могли розпізнати його у процесі обміну інформацією

**Примітка.** Адреси бувають логічними (символічними або умовними), фізичними (апаратними) та мережними

**адрес MAC**

Уникальный фиксированный адрес оборудования (элемента оборудования), обычно устанавливаемый производителем и используемый в протоколах ЛВС

en MAC address

ukr адреса MAC

Унікальна фіксована адреса обладнання (елемента обладнання), яка зазвичай встановлюється виробником і використовується у протоколах ЛОМ

**адрес IP**

Адрес, присваиваемый узлам сети, построенной на базе протоколов TCP/IP

**Примечание.** В случае использования протокола IPv4 этот адрес является 32-битовым, а в случае IPv6 – 128-битовым

en IP-address

ukr адреса IP

Адреса, що надається вузлам мережі, побудованої на базі протоколів TCP/IP.

**Примітка.** У разі використання протоколу IPv4 ця адреса є 32-бітовою, а у разі IPv6 – 128-бітовою

**адрес назначения**

В сетях связи – адрес элемента сети, к которому посылаются сообщения

en destination address

ukr адреса призначення

У мережах зв'язку – адреса елемента мережі, до якого надсилаються повідомлення

**асимметричная цифровая абонентская линия (ADSL; Splitterless ADSL; ADSL 2; Splitterless ADSL 2; ADSL 2+; ADSL 2++)**

xDSL-линия, характеризующаяся асимметричной скоростью передачи в восходящем и нисходящем направлениях. В оборудовании ADSL используется метод передачи ортогональными гармоническими сигналами – DMT (Discrete MultiTone)

en asymmetric digital subscriber line (ADSL; Splitterless ADSL; ADSL 2; Splitterless ADSL 2; ADSL 2+; ADSL 2++)

ukr асиметрична цифрова абонентська лінія (ADSL; Splitterless ADSL; ADSL 2; Splitterless ADSL 2; ADSL 2+; ADSL 2++)

xDSL-лінія, яка характеризується асиметричною швидкістю передавання у висхідному і низхідному напрямках. В обладнанні ADSL використовується метод передавання ортогональними гармонічними сигналами – DMT (Discrete MultiTone)

**аутентификация**

Процесс проверки, что пользователь, который осуществляет попытку получения доступа к определенному ресурсу, является тем, за кого себя выдает

**Примечание.** Выполняется с целью

en authentication

ukr автентифікація

Процес перевірки, що користувач, який здійснює спробу одержання доступу до певного ресурсу, є тим, за кого себе видає

**Примітка.** Виконується з метою забезпечення

обеспечения информационной безопасности, основывается на использовании дополнительных идентификаторов – паролей, цифровой подписи и . др.

### **бит**

1 Знак, символ, элемент сигнала, представляющий одно из двух возможных значений, например, в двоичной системе исчисления – цифра 0 или цифра 1

2 Единица измерения количества информации

**Примечание.** Один бит равен количеству информации, содержащейся в одном элементе двоичного сигнала при условии равновероятности принимаемых им значений

### **веб-браузер**

Специальная программа, с помощью которой устанавливается соединение с веб-сервером и обеспечивается просмотр HTML-документов, хранимых или формируемых в узлах сети Интернет

### **веб-сайт**

Логический узел сети Интернет, определяемый своим URL-именем и представляющий собой организованную совокупность HTML-страниц

### **веб-сервер**

Узел в сети Интернет, предназначенный для обработки запросов пользователей и предоставления документов, составленных на языке HTML (или других языках)

### **веб-страница**

Составленный на языке HTML (или других языках) документ, являющийся основой информационного обмена в сети интернет

**Примечание.** Наличие гиперссылок позволяет пользователю получить быстрый доступ к другим страницам того же или другого документа с помощью веб-браузера

### **вероятность ошибки по битам**

Показатель достоверности приема двоичных сигналов, используемый для оценки качества каналов связи

інформаційної безпеки, ґрунтується на використанні додаткових ідентифікаторів – паролів, цифрового підпису тощо

en bit

ukr біт

1 Знак, символ, елемент сигналу, що представляє одне з двох можливих значень, приміром, у двійковій системі числення – цифра 0 або цифра 1

2 Одиниця вимірювання кількості інформації

**Примітка.** Один біт дорівнює кількості інформації, що міститься в одному елементі двійкового сигналу за умови рівномірності прийманих ним значень

en web browser

ukr веб-браузер

Спеціальна програма, за допомогою якої встановлюється з'єднання з веб-сервером і забезпечується перегляд HTML-документів, що зберігаються або формуються у вузлах мережі Інтернет

en web site

ukr веб-сайт

Логічний вузол мережі Інтернет, який визначається своїм URL-ім'ям і являє собою організовану сукупність HTML-сторінок

en web server

ukr веб-сервер

Вузол у мережі Інтернет, призначений для оброблення запитів користувачів і надання документів, складених мовою HTML (або іншими мовами)

en web page

ukr веб-сторінка

Складений мовою HTML (або іншими мовами) документ, який є основою інформаційного обміну в мережі Інтернет.

**Примітка.** Наявність гіперпосилань дозволяє користувачеві отримати швидкий доступ до інших сторінок того самого або іншого документа за допомогою веб-браузера

en bit error rate

BER

ukr імовірність помилки по бітах

Показник вірогідності приймання

на физическом уровне

двійкових сигналів, що використовується для оцінювання якості каналів зв'язку на фізичному рівні

**виртуальный канал**

Канал связи сети с коммутацией пакетов, создаваемый для передачи пакетов сообщения между узлами сети, при этом разные пакеты сообщения могут передаваться методами пакетной передачи по различным физическим каналам связи, связывающим эти узлы, с сохранением целостности передаваемого сообщения на приеме

en virtual channel (circuit)

ukr віртуальний канал

Канал зв'язку мережі з комутацією пакетів, що створюється для передавання пакетів повідомлення між вузлами мережі, при цьому різні пакети повідомлення можуть передаватися методами пакетного передавання різними фізичними каналами зв'язку, які пов'язують ці вузли, зі зберіганням цілісності передаваного повідомлення на приймальному боці

**виртуальный тракт**

Маршрут, объединяющий группу однонаправленных виртуальных каналов, которые имеют общий идентификатор виртуального тракта

en virtual path

ukr віртуальний тракт

Маршрут, що об'єднує групу односпрямованих віртуальних каналів, які мають спільний ідентифікатор віртуального тракту

**витая пара**

симметричная пара с высокой степенью симметрии электрических параметров относительно продольной оси

en twisted pair

ukr вита пара

Симетрична пара з високим ступенем симетрії електричних параметрів відносно поздовжньої осі

**восходящий поток**

Поток данных, передаваемый от пользователя к местному центру электросвязи, от периферийного узла к центральному

en upstream

ukr висхідний потік

Потік даних, передаваний від користувача до місцевого центру електрозв'язку, від периферійного вузла до центрального

**глобальная сеть (WAN)**

Телекоммуникационная сеть, охватывающая большую географическую территорию

en wide-area network

WAN

ukr глобальная мережа (WAN)

Телекомунікаційна мережа, що охоплює велику географічну територію

**голос поверх межсетевого протокола (VoIP)**

Способ передачи голоса (речи) по сети Интернет или по любой другой сети с пакетной передачей, основанной на протоколе IP

en voice over internet protocol

VoIP

ukr голос поверх міжмережного протоколу (VoIP)

Спосіб передавання голосу (мови) мережею Інтернет або будь-якою іншою мережею з пакетним передаванням, базованим на протоколі IP

**двоичный сигнал**

1 Цифровой сигнал, каждый элемент

en binary signal

ukr двійковий сигнал

которого представляет собой сигнал из ансамбля, состоящего из двух возможных сигналов

2 Цифровой сигнал, информационный(ые) параметр(ы) каждого элемента которого может(ут) принимать одно из двух возможных значений

### **демультиплексор (DEMUX)**

Техническое средство, осуществляющее разделение составного (группового) сигнала на его составляющие.

**Примечание.** Данная операция является обратной по отношению к операции мультиплексирования

### **дискретный многотональный сигнал (DMT)**

Цифровой сигнал, каждый элемент которого состоит из множества ортогональных гармонических несущих частот, независимо модулируемых передаваемыми сигналами

### **дискретный сигнал**

Сигнал, состоящий из последовательно следующих во времени элементов

### **документы RFC**

Серия нормативных документов, издаваемых с 1969 г. под эгидой IETF с целью стандартизации и развития протоколов Интернета. Не все документы RFC являются официальным стандартом Интернета. Часть из них носит рекомендательный характер, содержит справочный материал или описание какой-либо проблемы

### **домен**

Часть иерархического адресного пространства сети Интернет, которая имеет идентифицирующее ее уникальное название, обслуживается группой серверов доменных имен и централизованно администрируется

1 Цифровой сигнал, каждый элемент якого являє собою сигнал з ансамблю, що складається з двох можливих сигналів

2 Цифровий сигнал, інформаційний(і) параметр(и) кожного елемента якого може(уть) набувати одного з двох можливих значень

en demultiplexer  
DEMUX

ukr демультиплексор (DEMUX)  
Технічний засіб, що здійснює розділення складеного (групового) сигналу на його складники.  
**Примітка.** Дана операція є зворотною до операції мультиплексування

en discrete multitone  
DMT

ukr дискретний багатотональний сигнал (DMT)  
Цифровий сигнал, кожний елемент якого складається з множини ортогональних гармонічних частот-носіїв, які незалежно модулюються передаваними сигналами

en discrete signal

ukr дискретний сигнал  
Сигнал, який складається із послідовно слідуючих у часі елементів

en RFC documents  
RFC

ukr документи RFC  
Серія нормативних документів, видаваних з 1969 р. під егідою IETF з метою стандартизації та розвитку протоколів Інтернету. Не всі документи RFC є офіційним стандартом Інтернету. Частина з них має рекомендаційний характер, містить довідковий матеріал або опис певної проблеми

en domain

ukr домен  
Частина ієрархічного адресного простору мережі Інтернет, яка має ідентифікуючу її унікальну назву, обслуговується групою серверів доменних імен і централізовано адмініструється

## домен UA

Домен верхнего уровня иерархического адресного пространства сети Интернет, созданный на основе кодирования названий стран в соответствии с международными стандартами для обслуживания адресного пространства украинского сегмента сети Интернет

## домен второго уровня

Часть адресного пространства сети Интернет, расположенная на втором уровне иерархии имен в этой сети

## запас помехозащищенности

Разность действительного отношения сигнал/шум на входе приемника (дБ) и минимального отношения сигнал/шум на входе приемника (дБ), при котором выполняются требования по коэффициенту битовых ошибок xDSL-линии

## затухание (сигнала, электрической цепи, устройства)

Величина, характеризующая изменение мощности (напряжения) сигнала при передаче его по среде распространения (электрической цепи, устройству) и определяемая логарифмом отношения значений мощности  $P_{\text{вх}}$  (напряжения  $U_{\text{вх}}$ ) на входе среды распространения к мощности  $P_{\text{вых}}$  (напряжению  $U_{\text{вых}}$ ) на выходе этой среды распространения:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}} \right|.$$

**Примечание.** Затухание измеряется в децибелах (дБ). Отрицательное значение затухания означает, что в среде распространения имеет место усиление сигнала

## защищенность между цепями на дальнем конце (защищенность)

Затухание (переходное) синусоидального сигнала при переходе с дальнего конца влияющей цепи на дальний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей по концам.

**Примечание.** Защищенность между цепями

en UA-domain

ukr домен UA

Домен верхнього рівня ієрархічного адресного простору мережі Інтернет, створений на основі кодування назв країн відповідно до міжнародних стандартів для обслуговування адресного простору українського сегмента мережі Інтернет

ukr домен другого рівня

Частина адресного простору мережі Інтернет, розташована на другому рівні ієрархії імен у цій мережі

en signal-to-noise ratio margin  
SNR margin

ukr запас завадозахищеності

Різниця дійсного відношення сигнал/шум на вході приймача (дБ) і мінімального відношення сигнал/шум на вході приймача (дБ), за якого виконуються вимоги щодо коефіцієнта бітових помилок xDSL-лінії

en attenuation

ukr загасання (сигналу, електричного кола, пристрою)

Величина, що характеризує змінювання потужності (напруги) сигналу під час передавання його середовищем поширення (електричним колом, пристроєм) і визначається логарифмом відношення значень потужності  $P_{\text{вх}}$  (напруги  $U_{\text{вх}}$ ) на вході середовища поширення до потужності  $P_{\text{вих}}$  (напруги  $U_{\text{вих}}$ ) на виході цього середовища поширення:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вих}}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих}}} \right|.$$

**Примітка.** Загасання вимірюється у децибелах (дБ). Від'ємне значення загасання означає, що у середовищі поширення має місце посилення сигналу

ukr захищеність між колами  
на далекому кінці (захищеність)

Загасання (перехідне) синусоїдного сигналу при переході з далекого кінця кола, що впливає, на далекий кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях.

**Примітка.** Захищеність між колами визначається як різниця між рівнем сигналу в

определяется как разность между уровнем сигнала в конце влияющей цепи и уровнем помехи в конце цепи, подверженной влиянию

### **идентификатор**

Код или символическое имя, однозначно характеризующее объект и позволяющее выделить его среди множества других объектов

### **идентификация**

Процедура установления тождественности объекта (пользователя, устройства, программы и т.д.) с одним из известных системе объектов по его идентификатору с целью определения его принадлежности этой системе

**Примечание.** Обычно идентификация предшествует операции аутентификации пользователя

### **инкапсуляция**

Преобразование данных, позволяющее передавать их через многопротокольную сеть в прозрачном режиме. Формирование инкапсулированного пакета осуществляется путем добавления к нему заголовка и вспомогательной информации. При передаче в сетях с многоуровневой иерархией инкапсулированный пакет может содержать несколько заголовков разного уровня: в начале пакета обычно находится заголовок физического уровня, за ним следует заголовок сетевого уровня и после этого – заголовок транспортного уровня. Далее могут располагаться данные прикладных протоколов

### **интерактивность**

Характеристика способа организации взаимодействия человека с человеком, человека с системой или системы с системой в реальном времени по принципу «запрос-ответ»

### **интернет**

Совокупность телекоммуникационных сетей, базирующихся на наборе протоколов TCP/IP и логически связанных глобальным адресным

кінці кола, що впливає, і рівнем завади в кінці кола, підданого впливу

en identifier

ukr ідентифікатор

Код або символічне ім'я, що однозначно характеризує об'єкт і дозволяє виділити його серед множини інших об'єктів

en identification

ukr ідентифікація

Процедура встановлення тотожності об'єкта (користувача, пристрою, програми тощо) з одним із відомих системі об'єктів за його ідентифікатором з метою визначення його належності до цієї системи

**Примітка.** Зазвичай ідентифікація передуює операції автентифікації користувача

en encapsulation

ukr інкапсуляція

Перетворення даних, що дозволяє передавати їх через багатопротокольну мережу у прозорому режимі. Формування інкапсульованого пакета здійснюється шляхом додавання до нього заголовка та допоміжної інформації. За передавання в мережах з багаторівневою ієрархією інкапсульований пакет може містити кілька заголовків різного рівня: на початку пакета зазвичай знаходиться заголовок фізичного рівня, за ним іде заголовок мережного рівня, і після цього – заголовок транспортного рівня. Далі можуть міститись дані прикладних протоколів

en interactivity

ukr інтерактивність

Характеристика способу організації взаємодії людини з людиною, людини з системою або системи з системою в реальному часі за принципом "запит-відповідь"

en internet

ukr інтернет

Сукупність телекомунікаційних мереж, які базуються на наборі протоколів TCP/IP і

пространством, что обеспечивает им функционирование как единой сети

### **интерфейс (стык)**

1 Совокупность средств, которые обеспечивают логические, электрические и конструктивные условия совместимости в точках соединения функциональных блоков.  
2 Общая граница двух объектов, взаимодействие через которую целиком определено

### **интерфейс T**

Интерфейс между xDSL-модемом и другим оборудованием помещения пользователя

### **интерфейс U**

Интерфейс между DSLAM и xDSL-модемом

### **интерфейс USB**

Интерфейс последовательной передачи данных для периферийных устройств.  
**Примечание.** Интерфейс USB соответствует спецификации USB 2.0, которая регламентирует три скорости передачи: High-speed (480 Мбит/с), Full-speed (12 Мбит/с) и Low-speed (1,5 Мбит/с)

### **интранет**

Сеть, основанная на протоколах TCP/IP, принадлежащая определенной организации, обычно корпорации, и доступная только членам, сотрудникам этой организации, но, в отличие от сети экстранет, не доступная внешним пользователям

### **информационная безопасность (систем электросвязи)**

Защищенность систем электросвязи от утечки, искажения или уничтожения циркулирующей в ней информации

### **кабель (с металлическими жилами)**

Соединительный элемент, представляющий собой некоторое количество металлических

логічно зв'язані глобальним адресним простором, що забезпечує їх функціонування як єдиної мережі

en interface

ukr інтерфейс (стик)

1 Сукупність засобів, що забезпечують логічні, електричні та конструктивні умови сумісності в точках з'єднання функціональних блоків і їх взаємодію.  
2 Спільна межа двох об'єктів, взаємодію через яку цілковито визначено

en T interface

ukr інтерфейс T

Інтерфейс між xDSL-модемом та іншим обладнанням приміщення користувача

en U interface

ukr інтерфейс U

Інтерфейс між DSLAM і xDSL-модемом

en USB interface

USB

ukr інтерфейс USB

Інтерфейс послідовного передавання даних для периферійних пристроїв.

**Примітка.** Інтерфейс USB відповідає специфікації USB 2.0, яка регламентує три швидкості передавання: High-speed (480 Мбіт/с), Full-speed (12 Мбіт/с) та Low-speed (1,5 Мбіт/с)

en intranet

ukr інтранет

Мережа, яка базується на протоколах TCP/IP, належить певній організації, зазвичай корпорації, і доступна лише для членів, співробітників цієї організації, але, на відміну від мережі екстранет, не є доступна для зовнішніх користувачів

ukr інформаційна безпека (систем електрозв'язку)

Захищеність систем електрозв'язку від витоку, спотворення, руйнування або знищення циркулюючої в них інформації

en cable

ukr кабель (з металевими жилами)

З'єднувальний елемент, що являє собою певну кількість металевих провідників,



проводников, изолированных друг от друга и предназначенных для передачи электрических сигналов.

**Примечание.** Кабели различаются по: конструкции рабочей цепи – симметричные и коаксиальные; виду электросвязи – телефонные, радиовещательные, телевизионные, комбинированные и др.; диапазону уплотнения – низкочастотные и высокочастотные; виду изоляции жил – воздушно-бумажные, воздушно-пластмассовые, сплошные полиэтиленовые и др.; группам – из двух, четырех и т.д. изолированных и скрученных между собой жил, образующих физические цепи; составу конструктивных элементов – однородные и комбинированные; степени помехозащищенности – экранированные и неэкранированные; материалу оболочки – свинцовые, алюминиевые, стальные, пластмассовые и комбинированные; защитным покровам – голые, бронированные стальными лентами или круглыми проволоками; условиям прокладки – подземные, подводные и подвесные

#### **кабель повивной скрутки**

Кабель, в сердечнике которого изолированные жилы или группы расположены коаксиальными повивами чередующихся направлений

#### **кабель пучковой скрутки**

Кабель, в котором изолированные жилы или группы образуют пучки, а пучки, в свою очередь, – сердечник

#### **канальный уровень (уровень звена данных)**

Второй уровень в эталонной модели OSI, который является передаточной средой между сетевым и физическим уровнями.

**Примечание.** На канальном уровне реализуются механизмы управления сетевыми ресурсами, а также обеспечивается поддержка разнообразных требований протоколов верхнего уровня по достоверности, качеству обслуживания и времени ожидания. Обмен информацией на канальном уровне обеспечивается в двух режимах: с установлением соединения и без установления соединения

ізолюваних один від одного і призначених для передавання електричних сигналів.

**Примітка.** Кабелі розрізняють за: конструкцією робочого кола – симетричні та коаксіальні; видом електрозв'язку – телефонні, радіомовні, телевізійні, комбіновані тощо.; діапазоном ущільнення – низькочастотні та високочастотні; видом ізоляції жил – повітряно-паперові, повітряно-пластмасові, суцільні поліетиленові тощо.; групами – з двох, чотирьох тощо ізолюваних і скручених між собою жил, які утворюють фізичні кола; складом конструктивних елементів – однорідні та комбіновані; ступенем завадозахищеності – екрановані та неекрановані; матеріалом оболонки – свинцеві, алюмінієві, сталі, пластмасові та комбіновані; захисними покриттями – голі, броньовані стальними стрічками або круглими дротами; умовами прокладення – підземні, підводні та підвісні

ukr кабель повивного скручення  
Кабель, в осерді якого ізолювані жили чи групи розташовано коаксіальними повивами з напрямками, що чергуються

ukr кабель пучкового скручення  
Кабель, у якому ізолювані жили чи групи утворюють пучки, а пучки, в свою чергу, – осердя

en link layer (data link layer)  
ukr канальний рівень (рівень ланки даних)  
Другий рівень в еталонній моделі OSI, який є передатним середовищем між мережним і фізичним рівнями.

**Примітка.** На канальному рівні реалізуються механізми керування мережними ресурсами, а також забезпечується підтримка різноманітних вимог протоколів верхнього рівня щодо вірогідності, якості обслуговування та часу очікування. Обмін інформацією на канальному рівні забезпечується у двох режимах: із встановленням з'єднання і без встановлення з'єднання

**квадратурная амплитудная модуляция**

**КАМ**

Вид модуляции, осуществляемый путем одновременной независимой амплитудной модуляции передаваемым сигналом, разделенным на два потока, двух гармонических квадратурных несущих (несущих, сдвинутых по фазе на  $90^\circ$ ) и последующего их сложения.

en quadrature amplitude modulation  
QAM

ukr квадратурна амплітудна модуляція  
КАМ  
Вид модуляції, що здійснюється шляхом одночасної незалежної амплітудної модуляції передаваним сигналом, розділеним на два потоки, двох гармонічних квадратурних несучих (несучих, зсунених за фазою на  $90^\circ$ ) і подальшого їх складання.

**квадратурный канал**

Канал, у которого фаза сигнала сдвинута относительно опорного сигнала на  $90^\circ$

en q-channel

ukr квадратурний канал  
Канал, у якого фазу сигналу зсунено відносно опорного сигналу на  $90^\circ$

**клиент**

Рабочая станция в сети, которая использует для работы станции ресурсы другого сетевого устройства (обычно сервера)

en client

ukr клієнт  
Робоча станція в мережі, яка використовує для роботи станції ресурси іншого мережного пристрою (зазвичай сервера)

**коаксиальный кабель**

Коаксиальный кабель – кабель, в сердечник которого входят коаксиальные пары.

**Примечание.** Коаксиальная пара – два изолированных между собой и соосно расположенных металлических проводника

en coaxial cable

ukr коаксіальний кабель  
Коаксіальний кабель – кабель, до осердя якого входять коаксіальні пари.  
**Примітка.** Коаксіальна пара – два ізольованих між собою металевих провідників зі спільною віссю

**коммутатор**

Техническое средство, обеспечивающее прохождение информационных сигналов между определенными его входами и выходами в соответствии с управляющими сигналами

en switch

ukr комутатор  
Технічний засіб, що забезпечує проходження інформаційних сигналів між певними його входами і виходами у відповідності до керувальних сигналів

**коммутация пакетов**

Технология передачи данных, характеризующаяся тем, что поток информации разбивается на пакеты фиксированной или переменной длины, которые обрабатываются и передаются в сети как независимые блоки

en packet switching

ukr комутація пакетів  
Технологія передавання даних, яка характеризується тим, що потік інформації розбивається на пакети фіксованої або змінної довжини, які обробляються і передаються в мережі як незалежні блоки

**коммутируемая телефонная сеть общего пользования КТСОП**

Совокупность местных, междугородных и международных автоматических телефонных станций,

en public switched telephone network  
PSTN

ukr комутовна телефонна мережа загального користування  
КТМЗК

коммутационных узлов, линий, каналов телефонной сети и оконечных абонентских телефонных устройств для обеспечения потребностей населения, учреждений, организаций и предприятий в автоматизированной телефонной связи

**корпоративная (учрежденческая) сеть**

Сеть связи одного предприятия, соединяющая разрозненные отделения и административные офисы

**коррекция характеристик канала (сигнала)**

Механизм (способ) приведения характеристик каналов (сигналов) к принятым нормам.

**Примечание.** Наиболее распространенный способ коррекции частотных характеристик канала связи заключается во включении в тракт передачи четырехполосника – корректора (эквалайзера), характеристики которого адаптируются таким образом, чтобы сквозная характеристика тракта «канал плюс корректор» удовлетворяла заданному критерию

**коэффициент затухания (линии)**

Затухание синусоидального сигнала при распространении по согласованной на входе и выходе линии длиной 1 км

**линейная скорость передачи сигналов**

Количество сигналов, передаваемых по линии связи в единицу времени

**локальная сеть (LAN)**

Выделенная сеть передачи данных, обслуживающая пользователей на небольшой территории.

**Примечание.** Локальная сеть позволяет объединить между собой рабочие места пользователей и периферийные устройства в единую среду, работающую под управлением единой сетевой операционной системы

**магистральный участок (абонентской линии)**

Сукупність місцевих, міжміських та міжнародних автоматичних телефонних станцій, комутаційних вузлів, ліній, каналів телефонної мережі та прикінцевих абонентських телефонних пристроїв для забезпечення потреб населення, установ, організацій та підприємств у автоматизованому телефонному зв'язку

en enterprise(-wide) network  
ukr корпоративна (установча) мережа  
Мережа зв'язку одного підприємства, яка поєднує розрізнені відділення та адміністративні офіси

en equalization  
ukr коригування характеристик каналу (сигналу)  
Механізм (спосіб) приведення характеристик каналів (сигналів) до прийнятих норм  
**Примітка.** Найбільш поширений спосіб коригування частотних характеристик каналу зв'язку полягає у включенні до тракту передавання чотириполосника – коректора (еквалайзера), характеристики якого адаптуються в такий спосіб, аби наскрізна характеристика тракту «канал плюс коректор» задовольняла заданому критерию

en attenuation factor  
ukr коефіцієнт загасання (лінії)  
Загасання синусоїдного сигналу за поширення узгодженою на вході і виході лінією завдовжки 1 км

ukr лінійна швидкість передавання сигналів  
Кількість сигналів, передаваних лінією зв'язку в одиницю часу

en local area network  
LAN  
ukr локальна мережа (LAN)  
Виділена мережа передавання даних, що обслуговує користувачів на невеликій території.  
**Примітка.** Локальна мережа дозволяє поєднати між собою робочі місця користувачів та периферійні пристрої в єдине середовище, яке працює під керуванням єдиної мережної операційної системи

en main cable  
ukr магістральна ділянка (абонентської

Участок абонентской линии от кросса АТС до последнего распределительного шкафа

### **маршрутизатор**

Техническое средство, осуществляющее прием пакетов, выбор для каждого из них маршрута передачи на основе таблицы маршрутизации и адресной информации, содержащейся в заголовках пакетов, и их передачу определенным им смежным узлам сети

**Примечание.** Выбор маршрута также может осуществляться с учетом информации о состоянии сети и определенных критериев, например минимального времени доставки пакетов, минимальной стоимости и т.д.

### **межсетевой протокол (IP)**

Протокол сетевого уровня, используемый в наборе протоколов TCP/IP (см. также стек протоколов TCP/IP)

### **множественный доступ**

Способ совместного использования определенным образом сетевого оборудования (канала, ресурса) рядом терминалов

### **модель взаимодействия открытых систем**

Разработанная ISO концептуальная основа взаимодействия телекоммуникационных систем, предполагающая разделение всех процессов взаимодействия телекоммуникационных систем на семь уровней с характерными для каждого уровня функциями. Термин "открытый" означает, что стандартизованный набор протоколов и спецификаций гарантирует возможность взаимодействия оборудования различных производителей

### **модем xDSL**

Техническое средство, реализующее функции приемопередатчика по технологии xDSL.

**Примечание.** Модем xDSL может также

лінії)

Ділянка абонентської лінії від кросу АТС до останньої розподільної шафи

en router

ukr маршрутизатор

Технічний засіб, що здійснює приймання пакетів, вибір для кожного з них маршруту передавання на основі таблиці маршрутизації та адресної інформації, що міститься у заголовках пакетів, і їх передавання до визначених ним суміжних вузлів мережі

**Примітка.** Вибір маршруту також може здійснюватися з урахуванням інформації про стан мережі та певних критеріїв, наприклад мінімального часу доставлення пакетів, мінімальної вартості тощо

en internet protocol

IP

ukr міжмережний протокол (IP) Протокол мережного рівня, який використовується у наборі протоколів TCP/IP (див. також стек протоколів TCP/IP)

en multiple access

ukr множинний доступ

Спосіб сумісного використання певним чином мережного обладнання (каналу, ресурсу) низкою терміналів

en open system interconnection model  
OSI

ukr модель взаємодії відкритих систем  
Розроблена ISO концептуальна основа взаємодії телекомунікаційних систем, що передбачає поділення всіх процесів взаємодії телекомунікаційних систем на сім рівнів із характерними для кожного рівня функціями. Термін "відкритий" означає, що стандартизований набір протоколів і специфікацій гарантує можливість взаємодії обладнання різних виробників

en xDSL-modem

ukr модем xDSL

Технічний засіб, який реалізує функції приймача-передавача за технологією xDSL.

выполнять функции моста и маршрутизатора

### **модуляция**

Процесс изменения одного или нескольких параметров сигнала-носителя информации в соответствии с передаваемым сигналом

### **мост**

Устройство, объединяющее несколько однотипных сегментов сети с одинаковыми протоколами обмена в сетевые фрагменты большего размера

### **мультиплексор (MUX)**

Техническое средство, объединяющее несколько отдельных сигналов в один составной (групповой) сигнал с возможностью дальнейшего разделения этого сигнала на его составляющие

**Примечание.** Термином «мультиплексор» часто называют устройство, которое содержит как мультиплексор, так и демультиплексор

### **мультиплексор доступа цифровых абонентских линий (DSLAM)**

Устройство, объединяющее определенное множество цифровых потоков xDSL-линий и выполняющее обратную операцию в соответствии с заданным алгоритмом работы

### **нисходящий поток**

Поток данных, передаваемый в направлении от центрального узла сети к периферийному, от узла к пользователю

### **номер**

Разновидность идентификатора, представляющая собой уникальный числовой код, предоставляемый абоненту или устройству и используемый в дальнейшем для его идентификации

**Примітка.** Модем xDSL може також виконувати функції моста і маршрутизатора

en modulation

ukr модуляція

Процес змінювання одного або декількох параметрів сигналу-носія інформації відповідно до передаваного сигналу

en bridge

ukr міст

Пристрій, який поєднує декілька однотипних сегментів мережі з однаковими протоколами обміну в мережні фрагменти більшого розміру

en multiplexer

MUX

ukr мультиплексор (MUX)

Технічний засіб, що об'єднує декілька окремих сигналів у один складений (груповий) сигнал із можливістю подальшого розділення цього сигналу на його складники

**Примітка.** Терміном “мультиплексор” часто називають пристрій, який містить як мультиплексор, так і демультиплексор

en digital subscriber line access multiplexer  
DSLAM

ukr мультиплексор доступу цифрових  
абонентських ліній (DSLAM)

Пристрій, що об'єднує певну множину цифрових потоків xDSL-ліній та виконує зворотну операцію відповідно до заданого алгоритму роботи

en downstream

ukr низхідний потік

Потік даних, передаваний у напрямку від центрального вузла мережі до периферійного, від вузла до користувача

en number

ukr номер

Різнovid ідентифікатора, що являє собою унікальний числовий код, який надається абоненту або пристрою і використовується в подальшому для його ідентифікації

**однопарная высокоскоростная  
цифровая абонентская линия  
(SHDSL)**

xDSL-линия, характеризующаяся симметричной передачей (данных) со скоростью до 5 Мбит/с по одной паре. В оборудовании SHDSL используется амплитудно-импульсная модуляция с решетчатым кодированием (Trellis-Coded Pulse Amplitude Modulation, TC-PAM).

**Примечание.** Технические характеристики оборудования SHDSL регламентированы Рекомендацией МСЭ-T G.991.2

en single-pair high-speed digital subscriber line

SHDSL

ukr однопарна високошвидкісна цифрова абонентська лінія (SHDSL)  
xDSL-лінія, яка характеризується симетричним передаванням (даних) зі швидкістю до 5 Мбіт/с однією парою. В обладнанні SHDSL використовується амплітудно-імпульсна модуляція з ґратчастим кодуванням (Trellis-Coded Pulse Amplitude Modulation, TC-PAM).  
**Примітка.** Технічні характеристики обладнання SHDSL регламентовано Рекомендацією МСЕ-T G.991.2

**оконечное оборудование  
терминальное оборудование**

Оборудование, которое подключается к пункту окончания телекоммуникационной сети, преобразовывает информацию пользователей в электромагнитные сигналы для передачи их по этой сети и осуществляет обратное преобразование

en terminal equipment

ukr прикінцеве обладнання  
термінальне обладнання  
Обладнання, що підмикається до пункту закінчення телекомунікаційної мережі, перетворює інформацію користувачів у електромагнітні сигнали для передавання їх цією мережею та здійснює зворотне перетворення

**ортогональность**

Уникальное свойство некоторых ансамблей сигналов, заключающееся в том, что коэффициент взаимной корреляции между любой парой сигналов из ансамбля равен нулю

en orthogonality

ukr ортогональність  
Унікальна властивість певних ансамблів сигналів, яка полягає у тому, що коефіцієнт взаємної кореляції між будь-якою парою сигналів з ансамблю дорівнює нулю

**пакет**

Последовательность информационных и служебных символов, передаваемых, обрабатываемых и коммутируемых как одно целое

en packet

ukr пакет  
Послідовність інформаційних і службових символів, що передаються, обробляються і комутуються як одне ціле

**пара**

Группа или часть группы из двух изолированных между собой жил (проводников), предназначенных для работы в одной электрической цепи

ukr пара

Група чи частина групи з двох ізольованих між собою жил (провідників), призначених для роботи в одному електричному колі

**переходное затухание**

Затухание синусоидального сигнала при переходе из влияющей цепи в цепь, подверженную влиянию

en crosstalk attenuation

ukr перехідне загасання  
Загасання синусоїдного сигналу за переходу з кола, що впливає, до кола, підданого впливу

**переходное затухание на ближнем конце**

Затухание синусоидального сигнала при переходе с ближнего конца влияющей цепи на ближний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей по концам

en near-end crosstalk attenuation  
ukr перехідне загасання на ближньому кінці  
Загасання синусоїдного сигналу за переходу з ближнього кінця кола, що впливає, на ближній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях

**переходное затухание на дальнем конце**

Затухание синусоидального сигнала при переходе с ближнего конца влияющей цепи на дальний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей по концам

en far-end crosstalk attenuation  
ukr перехідне загасання на далекому кінці  
Загасання синусоїдного сигналу за переходу з ближнього кінця кола, що впливає, на далекий кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях

**повив**

Слой элементов скрутки, расположенных коаксиально либо по отношению к остальным аналогичным элементам, образующим в совокупности скрученную часть конструкции кабельного изделия (токопроводящую жилу, сердечник), либо коаксиально поверх внутренней (по отношению к этому слою) части кабельного изделия

ukr повив  
Шар елементів скручення, розташованих коаксіально або відносно до інших аналогічних елементів, що утворюють у сукупності скручену частину конструкції кабельного виробу (струмопровідну жилу, осердя), або коаксіально поверх внутрішньої (стосовно до цього шару) частини кабельного виробу

**пользователь (услугами электросвязи)**

Юридическое или физическое лицо, которое пользуется услугами электросвязи

en user  
ukr користувач (послуг електрозв'язку)  
Юридична або фізична особа, яка користується послугами електрозв'язку

**помехоустойчивость**

Способность системы функционировать, обеспечивая заданное качество связи в условиях воздействия помех

en noise-immunity  
ukr завадостійкість  
Здатність системи функціонувати, забезпечуючи задану якість зв'язку в умовах впливу завад

**права доступа**

Права, определенные перечнем разрешенных действий и сетевых ресурсов, которые при работе с данной системой могут быть доступны конкретному пользователю

en access rights  
ukr права доступу  
Права, визначені переліком дозволених дій та мережних ресурсів, які при роботі з даною системою можуть бути доступні конкретному користувачеві

**приоритезация трафика**

Механизм, заключающийся в разделении всего трафика на классы, определяющие очередность передачи элементов трафика в соответствии с классом

en traffic prioritization  
ukr пріоритизація трафіка  
Механізм, що полягає у розділенні всього трафіка на класи, що визначають черговість передавання елементів трафіка відповідно до класу

**приоритет**

Ранг (число), который присваивается заданию, процессу или операции и определяет очередность его (ее) выполнения или обслуживания

en priority

ukr пріоритет

Ранг (число), який присвоюється завданню, процесу або операції та визначає черговість його (її) виконання або обслуговування

**прокси-сервер**

Сервер-посредник, который получает запросы от клиентских приложений, таких как веб-браузер, и обрабатывает их самостоятельно, если имеет такую возможность, или, в противном случае, направляет запросы на основной сервер.

Примечание. Прокси-серверы используются

для уменьшения нагрузки на сеть, увеличения производительности сети и фильтрации нежелательных запросов пользователей

en proxy server

ukr проксі-сервер

Сервер-посередник, який отримує запити від клієнтських застосунків, таких як веб-браузер, і оброблює їх самостійно, якщо має таку можливість, чи, в протилежному випадку, спрямовує запити на основний сервер  
Примітка. Проксі-сервери використовуються для зменшення навантаження на мережу, збільшення продуктивності мережі і фільтрації небажаних запитів користувачів

**пропускная способность**

Показатель, определяющий максимально допустимую скорость передачи информации по каналу, тракту или системе (бит/с)

en telecommunication channel capacity

ukr пропускна здатність

Показник, який визначає максимально припустиму швидкість передавання інформації каналом, трактом або системою (біт/с)

**протокол TCP**

Основной протокол транспортного и сеансового уровней в наборе протоколов TCP/IP, гарантирующий доставку передаваемых пакетов данных, основывающийся на установлении логического соединения между оборудованием пользователя и сервером и содержащий механизм контроля перегрузки сети. Протокол TCP регламентирован RFC-793, RFC-1180

en TCP protocol

TCP

ukr протокол TCP

Основний протокол транспортного й сеансового рівнів у наборі протоколів TCP/IP, що гарантує доставлення передаваних пакетів даних, ґрунтується на встановленні логічного з'єднання між обладнанням користувача й сервером та містить механізм контролю перевантаження мережі. Протокол TCP регламентовано RFC-793, RFC-1180

**протокол UDP**

Сетевой протокол транспортного уровня, входящий в состав набора протоколов TCP/IP, на котором базируются сетевая файловая система, служба имён и ряд других служб, однако, в отличие от TCP, UDP обеспечивает обмен дейтаграммами без подтверждения доставки. Протокол UDP регламентирован RFC-768

en UDP protocol

UDP

ukr протокол UDP

Мережний протокол транспортного рівня, що входить до складу набору протоколів TCP/IP, на якому базуються мережна файлова система, служба імен і низка інших служб, однак, на відміну від TCP, UDP забезпечує обмін дейтаграмами без підтвердження доставлення. Протокол UDP регламентовано RFC-768



**пучок**

Элемент конструкции сердечника кабеля, состоящий из совокупности групп (пар, четверок и т.п.), скрученных в одну сторону и с одинаковым шагом

**распределительный участок абонентской линии**

Участок абонентской линии от распределительного шкафа до распределительной коробки

**регенератор**

Техническое средство, осуществляющее прием искаженного в процессе передачи цифрового сигнала, его восстановление и дальнейшую передачу и предназначенный для увеличения длины линии связи

**сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия (VDSL; VDSL2)**

xDSL-линия, технические характеристики которой регламентированы Рекомендацией МСЭ-Т G.993 и использующая метод передачи ортогональными гармоническими сигналами – DMT (Discrete MultiTone).

**Примечание 1.** VDSL, согласно Рекомендации МСЭ-Т G.993.1, обеспечивает скорость передачи в нисходящем направлении до 57 Мбит/с, а в восходящем направлении – до 33 Мбит/с

**Примечание 2.** VDSL2, согласно Рекомендации МСЭ-Т G.993.2, обеспечивает суммарную скорость передачи информации в нисходящем и восходящем направлениях до 200 Мбит/с

**сеансовый уровень**

Пятый уровень эталонной модели OSI, который определяет способы установления, поддержания и разрыва соединения, а также регламентирует способы диалогового обмена (дуплекс, полудуплекс) и процессы установления синхронизации при обмене данными

**ukr пучок**

Елемент конструкції осердя кабелю, що складається із сукупності груп (пар, четвірок тощо), скручених в один бік і з однаковим кроком

**en distribution cable**

**ukr** розподільна ділянка абонентської лінії  
Ділянка абонентської лінії від розподільної шафи до розподільної коробки

**en regenerator**

repeater

**ukr регенератор**

Технічний засіб, що здійснює приймання спотвореного в процесі передавання цифрового сигналу, його відновлення та подальше передавання і призначений для збільшення довжини лінії зв'язку

**en very high speed digital subscriber line VDSL**

VDSL2

**ukr** надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія (VDSL; VDSL2)  
xDSL-лінія, технічні характеристики якої регламентовано Рекомендацією МСЭ-Т G.993 і яка використовує метод передавання ортогональними гармонічними сигналами – DMT (Discrete MultiTone)

**Примітка 1.** VDSL, згідно з Рекомендацією МСЭ-Т G.993.1, забезпечує швидкість передавання у низхідному напрямку до 57 Мбіт/с, а у висхідному напрямку – до 33 Мбіт/с

**Примітка 2.** VDSL2, згідно з Рекомендацією МСЭ-Т G.993.2, забезпечує сумарну швидкість передавання інформації у низхідному і висхідному напрямках до 200 Мбіт/с

**en session layer****ukr сеансовий рівень**

П'ятий рівень еталонної моделі OSI, який визначає способи встановлення, підтримання та розривання з'єднання, а також регламентує способи діалогового обміну (дуплекс, полудуплекс) і процеси встановлення синхронізації при обміні даними

**сервер**

Техническое средство, выполняющее функции обслуживания по запросам пользователей или сетевых объектов (устройств, программ, процессов и т.д.), предоставляя им доступ к определенным ресурсам телекоммуникационной сети

en server

ukr сервер

Технічний засіб, що виконує функції обслуговування за запитами користувачів або мережних об'єктів (пристроїв, програм, процесів тощо), надаючи їм доступ до певних ресурсів телекомунікаційної мережі

**сервер доменных имён (DNS)**

Служебный компьютер сети, преобразовывающий имена сетевых элементов в доменные записи в IP-адреса

en domain name server  
DNS

ukr сервер доменных імен (DNS)

Службовий комп'ютер мережі, що перетворює імена мережних елементів у доменних записях на IP-адреси

**сервер удаленного широкополосного доступа (BRAS)**

Узел транспортной сети, который обеспечивает агрегацию трафика пользователей широкополосного доступа, аутентификацию, авторизацию и учет предоставляемых услуг, а также формирование политики обслуживания каждого пользователя

en broadband remote access server  
BRAS

ukr сервер віддаленого широкопосмугового доступу (BRAS)

Вузол транспортної мережі, що забезпечує агрегацію трафіка користувачів широкопосмугового доступу, автентифікацію, авторизацію та облік надаваних послуг, а також формування політики обслуговування кожного користувача

**сетевой уровень (NWL)**

Третий уровень эталонной модели OSI, который обеспечивает адресацию и маршрутизацию информационных потоков и выполняет функции, связанные с распознаванием протоколов и идентификацией пакетов сетевыми службами.

en network layer  
NWL

ukr мережний рівень (NWL)

Третій рівень еталонної моделі OSI, що забезпечує адресацію і маршрутизацію інформаційних потоків та виконує функції, пов'язані з розпізнаванням протоколів та ідентифікацією пакетів мережними службами.

**сеть (электросвязи) транспортная**

Сеть электросвязи, предназначенная для передачи высокоскоростных потоков данных, к которой пользователи не подключены непосредственно и которая осуществляет взаимосоединение сетей доступа

en core network

ukr мережа (електрозов'язку) транспортна

Мережа електрозов'язку, призначена для передавання високошвидкісних потоків даних, до якої користувачі не підімкнені безпосередньо і яка здійснює взаємоп'єднання мереж доступу

**сеть WWW**

Система гипертекстовых и иных ресурсов, доступных по всему миру через сеть Интернет

en world wide web  
WWW

ukr мережа WWW

Система гіпертекстових та інших ресурсів, доступних по всьому світу через мережу Інтернет

**сеть xDSL-доступа**

Широкополосная сеть доступа, которая построена на базе xDSL-систем передачи (см. также Сеть доступа)

**Примечание.** Технические характеристики xDSL-систем передачи определены рекомендациями МСЭ-Т G.991 – G.993

en xDSL access network

ukr мережа xDSL-доступу

Широкополосна мережа доступу, що побудована на базі xDSL-систем передавання (див. також Мережа доступу).

**Примітка.** Технічні характеристики xDSL-систем передавання визначено рекомендаціями МСЭ-Т G.991 – G.993

**сеть доступа**

Часть сети электросвязи, которая обеспечивает соединение оборудования пользователей с ближайшим узлом транспортной сети с целью обеспечения пользователей доступом к инфокоммуникационным услугам

en access network

ukr мережа доступу

Частина мережі електрозв'язку, що забезпечує з'єднання обладнання користувачів з найближчим вузлом транспортної мережі з метою забезпечення користувачів доступом до інфокомунікаційних послуг

**сеть электросвязи**

(телекоммуникационная сеть)

Комплекс объединенных в едином технологическом процессе сетевых узлов и линий передачи, обеспечивающий предоставление пользователям телекоммуникационных услуг

en telecommunication network

ukr мережа електрозв'язку

(телекомунікаційна мережа)  
Комплекс об'єднаних в єдиному технологічному процесі мережних вузлів і ліній передавання, що забезпечує надання користувачам телекомунікаційних послуг

**сигнал**

1 Физический процесс-носитель информации во времени или в пространстве

2 Физическое явление, наличие, отсутствие или изменение которого рассматривается как представление информации

en signal

ukr сигнал

1 Фізичний процес-носії інформації в часі або в просторі  
2 Фізичне явище, наявність, відсутність або зміна якого розглядається як подання інформації

**симметричная пара**

Пара, в которой изолированные жилы одинаковой конструкции – параллельные или скрученные – расположены симметрично относительно ее продольной оси

en balanced pair

ukr симетрична пара

Пара, у якій ізольовані жили однакової конструкції – паралельні або скручені – розташовано симетрично відносно її поздовжньої осі

**скорость передачи информации**

Количество информации, передаваемой по каналу, тракту, системе и т.д. в единицу времени

**Примечание.** Единицей измерения скорости передачи информации является бит/с

en data transmission rate

ukr швидкість передавання інформації

Кількість інформації, що передається каналом, трактом або системою тощо за одиницю часу

**Примітка.** Одиницею вимірювання швидкості передавання інформації є біт/с

**скорость передачи сигналов**

Количество элементов цифрового сигнала (в случае двоичного сигнала – битов), передаваемых по каналу, тракту

en signalling rate

ukr швидкість передавання сигналів

Кількість елементів цифрового сигналу (у випадку двійкового сигналу – бітів),

или системе в единицу времени

**Примечание.** Единицей измерения скорости передачи сигналов является символ/с (в случае двоичного сигнала – бит/с)

### **служба имён доменов (DNS)**

Служба имен Интернета, стандартная служба TCP/IP, устанавливающая соответствие между IP-адресами в числовом и текстовом виде.

**Примечание.** Служба DNS дает возможность клиентским компьютерам в сети регистрировать и разрешать доменные имена, которые используются при поиске ресурсов сети, и обращения к ним

### **собственное затухание (линии)**

Затухание синусоидального сигнала при распространении вдоль однородной линии при согласованной на ее концах нагрузке

### **согласованная нагрузка**

1 Нагрузка, параметры которой соответствуют получению на ней наибольшей мощности.  
2 Нагрузка линии, при которой в линии отсутствует отраженная волна

### **сплиттер**

Оборудование (частотный фильтр), обеспечивающее частотное разделение сигналов ADSL/VDSL и POTS/ISDN (узел, содержащийся в DSLAM, а также самостоятельный узел или узел, содержащийся в ADSL/VDSL-модеме)

### **стек протоколов**

Концептуальная модель многоуровневой архитектуры для коммуникационных протоколов, в которой уровни представляются в порядке их цифрового обозначения, и требующая, чтобы передаваемые данные обрабатывались последовательно каждым уровнем в порядке их представления. Графически стек изображается вертикалью с уровнями. При этом уровни с меньшим числовым обозначением должны находиться ниже

що передаються каналом, трактом або системою за одиницю часу

**Примітка.** Одиницею вимірювання швидкості передавання сигналів є символ/с (у випадку двійкового сигналу – біт/с)

en domain name system  
DNS

ukr служба імен доменів (DNS)  
Служба імен Інтернету, стандартна служба TCP/IP, що встановлює відповідність між IP-адресами у числовому і текстовому вигляді.

**Примітка.** Служба DNS надає можливість клієнтським комп'ютерам у мережі реєструвати і дозволяти доменні імена, використовувати за пошуку ресурсів мережі, і звертання до них

en non-reflection attenuation  
ukr власне загасання (лінії)  
Загасання синусоїдного сигналу при поширенні вздовж однорідної лінії за узгодженого на її кінцях навантаження

en matched load  
ukr узгоджене навантаження  
1 Навантаження, параметри якого відповідають отриманню на ньому найбільшої потужності.  
2 Навантаження лінії, за якого у лінії відсутня відбита хвиля

en splitter  
ukr сплітер  
Обладнання (частотний фільтр), що забезпечує частотне розділення сигналів ADSL/VDSL і POTS/ISDN (вузол, що міститься у DSLAM, а також самостійний вузол або вузол, що міститься у ADSL/VDSL-модемі)

en protocol stack  
ukr стек протоколів  
Концептуальна модель багаторівневої архітектури для комунікаційних протоколів, у якій рівні подаються в порядку їх цифрового позначення і яка вимагає, щоб передавані дані оброблювалися послідовно кожним рівнем у порядку їх подавання. Графічно стек зображується вертикаллю з рівнями. При цьому рівні з меншим числовим позначенням мають розміщуватися нижче

### **стек протоколов TCP/IP**

Стек протоколов, используемый как в глобальных, так и в локальных сетях. В полную спецификацию TCP/IP входят протоколы: сетевого уровня (IP), транспортного уровня (TCP), сетевого управления (SNMP), а также протоколы прикладного уровня (Telnet, FTP, SMTP) и др. Протокол IP предназначается для межсетевого обмена. Вопросы достоверной доставки пакетов решает протокол TCP. Отличительной особенностью стека TCP/IP является гибкая система адресации, позволяющая более просто, по сравнению с протоколами аналогичного назначения, создавать глобальные сети с разветвленной структурой

### **технология Ethernet**

Технология, в основу которой положен множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов. Технология Ethernet регламентирована стандартом IEEE 802.3.

**Примечание.** Первоначально технология Ethernet была разработана для построения локальных вычислительных сетей с пропускной способностью до 10 Мбит/с

### **технология Fast Ethernet**

Модифицированная технология Ethernet с повышенной пропускной способностью (до 100 Мбит/с). Технология Fast Ethernet регламентирована стандартом IEEE 802.3.

**Примечание.** Все основные отличия технологии Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне. Сохранен метод случайного доступа (CSMA/CD), но введен полудуплексный, а в отдельных случаях и дуплексный режим работы, выбраны другие методы кодирования (4b/5b, NRZI в отличие от Манчестерского в Ethernet)

### **технология Gigabit Ethernet**

Высокоскоростная технология семейства технологий Ethernet, обеспечивающая передачу данных со

en TCP/IP protocol stack  
TCP/IP

ukr стек протоколів TCP/IP  
Стек протоколів, який використовують як у глобальних, так і в локальних мережах.  
У повну специфікацію TCP/IP входять протоколи: мережного рівня (IP), транспортного рівня (TCP), мережного керування (SNMP), а також протоколи прикладного рівня (Telnet, FTP, SMTP) тощо. Протокол IP призначається для міжмереженого обміну. Питання вірогідного доставляння пакетів вирішує протокол TCP. Відмітною особливістю стека TCP/IP є гнучка система адресації, яка дозволяє більш просто, порівняно з протоколами аналогічного призначення, створювати глобальні мережі з розгалуженою структурою

en Ethernet

ukr технологія Ethernet  
Технологія, в основу якої покладено множинний доступ з контролем несучої та виявленням конфліктів. Технологію Ethernet регламентовано стандартом IEEE 802.3.

**Примітка.** Спочатку технологію Ethernet було розроблено для побудови локальних обчислювальних мереж з пропускною здатністю до 10 Мбіт/с

en Fast Ethernet

ukr технологія Fast Ethernet  
Модифікована технологія Ethernet з підвищеною пропускною здатністю (до 100 Мбіт/с). Технологію Fast Ethernet регламентовано стандартом IEEE 802.3.  
**Примітка.** Всі основні відмінності технології Fast Ethernet від Ethernet зосереджено на фізичному рівні. Збережено метод випадкового доступу (CSMA/CD), але введено напівдуплексний, а в окремих випадках і дуплексний режим роботи, обрано інші методи кодування (4b/5b, NRZI на відміну від Манчестерського в Ethernet)

en Gigabit Ethernet

ukr технологія Gigabit Ethernet  
Високошвидкісна технологія сімейства технологій Ethernet, що забезпечує

скоростью до 1 Гбит/с. Технология Gigabit Ethernet регламентирована стандартом IEEE 802.3.

**Примечание.** По сравнению с предыдущими версиями Ethernet, минимальный размер кадра увеличен с 64 до 512 байт. В качестве передающей среды допускается использование трех типов кабелей: оптоволоконных одномодового и многомодового, а также неэкранированной витой пары

### **технология VLAN**

Технология логического деления локальной сети на части (виртуальные сети), регламентированная стандартом IEEE 802.1Q

### **технология VPN**

Технология создания на базе существующей сети общего пользования виртуальной сети, характеризующейся высоким уровнем информационной безопасности и предоставляющей набор услуг, сходный с набором услуг, предоставляемых существующей сетью общего пользования

### **транспортный уровень**

Четвертый уровень эталонной модели OSI, который определяет способы транспортировки информации между конечными пунктами сети.

**Примечание.** Фактически транспортный уровень действует как интерфейс между тремя более высокими уровнями (5 – 7), ориентированными на взаимодействие с прикладными процессами, и тремя нижними уровнями (1 – 3)

### **узел доступа**

#### **пункт доступа**

Узел телекоммуникационной сети, обеспечивающий пользователям доступ к сетевым ресурсам

### **управление доступом к (физической) среде (MAC)**

- 1 Общий термин, используемый для описания метода доступа сетевых устройств к среде передачи данных.
- 2 Нижний подуровень канального уровня эталонной модели OSI,

передавания даних зі швидкістю до 1 Гбіт/с. Технологію Gigabit Ethernet регламентовано стандартом IEEE 802.3.

**Примітка.** Порівняно з попередніми версіями Ethernet, мінімальний розмір кадру збільшено з 64 байт до 512 байт. В якості середовища передавання припускається використання трьох типів кабелів: оптоволоконних одномодового та багатомодового, а також неекранованої витой пари

en VLAN technology  
VLAN

ukr технологія VLAN  
Технологія логічного ділення локальної мережі на частини (віртуальні мережі), регламентована стандартом IEEE 802.1Q

en VPN technology  
VPN

ukr технологія VPN  
Технологія створення на базі існуючої мережі загального користування віртуальної мережі, що характеризується високим рівнем інформаційної безпеки та надає набір послуг, схожий з набором послуг, надаваних існуючою мережею загального користування

en transport layer

ukr транспортний рівень  
Четвертий рівень еталонної моделі OSI, який визначає способи транспортування інформації між кінцевими пунктами мережі.

**Примітка.** Фактично транспортний рівень діє як інтерфейс між трьома більш високими рівнями (5 – 7), орієнтованими на взаємодію з прикладними процесами, та трьома нижніми рівнями (1 – 3)

en access node

ukr вузол доступу; пункт доступу  
Вузол телекомунікаційної мережі, який забезпечує користувачам доступ до мережних ресурсів

en media access control  
MAC

ukr керування доступом до (фізичного) середовища (MAC)  
1 Загальний термін, використовуваний для описування методу доступу мережних пристроїв до середовища

обеспечивающий управление

**Примечание.** Протоколы этого подуровня поддерживают оптимальное распределение ресурсов, сводя к минимуму конфликты между обслуживаемыми объектами

### уровень (иерархии)

В архитектуре системы – совокупность правил и протоколов, относящихся к одному типу обмена информацией (например, модель OSI определяет 7 уровней иерархии протоколов взаимодействия систем)

### уровень представления данных

Шестой уровень эталонной модели OSI, определяющий способ представления (синтаксическую структуру) данных в процессе обмена данными между двумя прикладными процессами или пользователями

### физический уровень

Самый нижний уровень эталонной модели OSI, который обеспечивает физическую и электрическую связь между оборудованием.

**Примечание.** На физическом уровне реализуются функции, связанные с модуляцией/демодуляцией сигналов, переключением режимов приема/передачи, сменой частоты, управлением мощностью передатчика, установлением тактовой синхронизации, обменом данными с более высоким канальным уровнем

### хост

Компьютер, передающий и принимающий информацию с использованием протоколов Интернета. Хост выполняет функции маршрутизации (т. е. работает на сетевом уровне) и может выполнять дополнительные функции, включая функции протоколов верхних и нижних уровней

**цифровая абонентская линия**  
**xDSL-доступа**  
**xDSL-линия**

передавания данных.

2 Нижний подуровень канального уровня эталонной модели OSI, який забезпечує керування доступом до фізичних каналів.

**Примітка.** Протоколи цього підрівня підтримують оптимальний розподіл ресурсів, зводячи до мінімуму конфлікти між об'єктами, що обслуговуються

en layer  
ukr рівень (ієрархії)

В архітектурі системи – сукупність правил і протоколів, стосовних до одного типу обміну інформацією (наприклад, модель OSI визначає 7 рівнів ієрархії протоколів взаємодії систем)

en data presentation layer  
ukr рівень подавання даних  
Шостий рівень еталонної моделі OSI, що визначає спосіб подавання (синтаксичну структуру) даних у процесі обміну даними між двома прикладними процесами або користувачами

en physical layer  
ukr фізичний рівень  
Найнижчий рівень еталонної моделі OSI, який забезпечує фізичний та електричний зв'язок між обладнанням.  
**Примітка.** На фізичному рівні реалізуються функції, пов'язані з модуляцією/демодуляцією сигналів, перемиканням режимів приймання/передавання, змінюванням частоти, керуванням потужністю передавача, встановленням тактової синхронізації, обміном даними з більш високим канальним рівнем

en host  
ukr хост  
Комп'ютер, який передає і приймає інформацію з використанням протоколів Інтернет. Хост виконує функції маршрутизації (тобто працює на мережному рівні) і може виконувати додаткові функції, включаючи функції протоколів вищих і нижчих рівнів

en x Digital Subscriber Line  
xDSL  
ukr цифрова абонентська лінія

Абонентская линия кабельная, оборудованная аппаратурой связи по рекомендациям МСЭ-Т G.99х для цифровых электрических сигналов

**цифровая абонентская линия (DSL)  
ЦАЛ**

Абонентская линия кабельная, оборудованная аппаратурой связи с целью передачи цифровых электрических сигналов

**цифровой сигнал**

1 Дискретный во времени сигнал, каждый элемент которого представляет собой сигнал из ограниченного по числу сигналов ансамбля (набора), отличающихся между собой формой, амплитудой, фазой, частотой и т.д.  
2 Дискретный во времени сигнал, информационный(е) параметр(ы) каждого элемента которого может(ут) принимать одно из ограниченного набора допустимых значений

**экстранет**

Сеть, основанная на протоколах ТСП/IP, принадлежащая организации, обычно корпорации, и доступная только членам, сотрудникам этой организации, а также авторизованным внешним пользователям. С помощью экстранета предприятие устанавливает связь с поставщиками и потребителями

**электромагнитная совместимость**

Способность технических средств или систем функционировать в данной электромагнитной среде с заданным качеством, не создавая при этом недопустимых помех для этой среды

**эхокомпенсация**

Метод подавления нежелательного сигнала (помехи) путем его адаптивного оценивания и вычитания оцененного значения из принимаемого сигнала

хDSL-доступу

хDSL-лінія

Абонентська лінія кабельна, обладнана апаратурою зв'язку за рекомендаціями МСЕ-Т G.99х для передавання цифрових електричних сигналів

en digital subscriber line  
DSL

ukr цифрова абонентська лінія (DSL)  
ЦАЛ

Абонентська лінія кабельна, обладнана апаратурою зв'язку для передавання цифрових електричних сигналів

en digital signal

ukr цифровий сигнал

1 Дискретний у часі сигнал, кожний елемент якого являє собою сигнал з обмеженого за числом сигналів ансамблю (набору), які відрізняються між собою формою, амплітудою, фазою або частотою тощо  
2 Дискретний у часі сигнал, інформаційний(і) параметр(и) кожного елемента якого може(уть) приймати набувати одного з обмеженого набору припустимих значень

en extranet

ukr екстранет

Мережа, що базується на протоколах ТСП/IP, належить організації, зазвичай корпоративній, і доступна лише для членів, співробітників цієї організації, а також для авторизованих зовнішніх користувачів. За допомогою екстранету підприємство встановлює зв'язок з постачальниками і споживачами

en electromagnetic compatibility

ukr електромагнітна сумісність

Здатність технічних засобів або систем функціонувати у даному електромагнітному середовищі із заданою якістю, не створюючи при цьому неприпустимих завад для цього середовища

en echo cancellation

ukr ехокомпенсація

Метод придушення небажаного сигналу (завади) шляхом його адаптивного оцінювання і віднімання оціненого значення з сигналу, що приймається



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Балашов В.А., Балашова А.В., Ефремов В.П., Ляховецкий Л.М.* Состояние и тенденции развития широкополосного доступа к Интернет // Вісник ДУІКТ, спеціальний випуск, 2009. – С 32-36.
- 2 *Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М.* Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник. – М.: Эко-Трендз, 2009. –256 с.
- 3 *Бакланов И.Г.* Технологии ADSL/ADSL2+: теория и практика применения. – М.: Метротек, 2007.
- 4 *Балашов В.А., Ефремов В.П., Ляховецкий Л.М.* Системы передачи, основанные на Рекомендации ITU G.992 // Зв'язок. – 2001. – №2. – С. 34-40.
- 5 *Балашов В.А., Копийка О.В., Ляховецкий Л.М.* VDSL – ближайшее будущее цифрового абонентского доступа // Зв'язок. – 2005. – №4. – С. 10-16.
- 6 *Балашов В.А., Ляховецкий Л.М.* Алгоритмы оптимизации спектра группового сигнала в многоканальных модемах // Наукові праці УДАЗ ім. О. С. Попова. – 1999. – №1. – С. 37-43.
- 7 *Белецкий А.Ф.* Теория электрических цепей. – М.: Радио и связь, 2001
- 8 *Брискер А.С., Руга А.Д., Шарле Д.Л.* Городские телефонные кабели. Справочник. – М.: Радио и связь, 1984.
- 9 *Власов В.Е., Парфенов Ю.А., Рысин Л.Г., Кайзер Л.И.* Кабели СКС на сетях электросвязи: теория, конструирование, применение. – М.: Эко-Трендз, 2006.
- 10 *Галлагер Г.* Теория информации и надежная связь. – М.: Советское радио, 1974.
- 11 *Горальски Вальтер.* Технологии ADSL и DSL. – М.: Издательство „Лори”, 2000.
- 12 *Гроднев И.И., Верник С.М.* Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988.
- 13 *Захарченко Н.В., Нудельман П.Я., Кононович В.Г.* Основы передачи дискретных сообщений, – М.: Радио и связь, 1990
- 14 *Парфенов Ю.А.* Кабели электросвязи. – М.: Эко-Трендз, 2003.
- 15 *Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г.* Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование. – М.: Эко-Трендз, 2005.
- 16 *Прокис Дж.* Цифровая связь. – М.: Радио и связь, 2000.
- 17 *Скляр Бернард.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Издательский дом „Вильямс”, 2003.
- 18 *Forney G.D.* Concatenated Codes. – Cambridge.: MIT Press Jr, 1966.
- 19 РД 45.120-2000 Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети.
- 20 ГОСТ 20802-75. Городские симметричные телефонные кабели с медными жилами в свинцовой оболочке.
- 21 ГОСТ 22498-77. Городские телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.

22 ГОСТ Р 51311-99. Кабели телефонные, кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.

23 ОСТ 45.36-97. Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные.

24 ОСТ 45.82-96. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.

25 ОСТ 45.83-96. Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.

26 Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи. – М.: ССКТБ-ТОМАСС, 1996.

27 Руководство по эксплуатации линейно-кабельных сооружений местных сетей связи. – М.: Информсвязь, 1998

28 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.961. Digital transmission system on metallic local lines for ISDN basic access (Цифровая система передачи на металлических линиях для доступа на базовой скорости ЦСИС).

29 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.902 Framework Recommendation on functional access networks. Architecture and functions, access types, management and service node access (Базовая Рекомендация по функциональным сетям доступа. Архитектура и функции, типы доступа, доступ к узлу управления и услуг);

30 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.991.1 High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers (Приемопередатчики высокоскоростной цифровой абонентской линии (HDSL));

31 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.991.2 Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers (Приемопередатчики однопарной высокоскоростной цифровой абонентской линии (SHDSL));

32 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL));

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особые требования к ADSL-системе, работающей в полосе частот выше тональной);

Ann. B. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above ISDN as defined in ITU-T Recommendation G.961 Appendices I and II (Особые требования к ADSL-системе, работающей в полосе частот выше занимаемой системой ISDN, определенной в Добавлениях I и II к Рекомендации G.961 MCЭ-T);

Ann. C. Specific requirements for an ADSL system operating in the same cable as ISDN as defined in ITU-T Recommendation G.961 Appendix III (Особые требования к системе ADSL, работающей в том же кабеле, что и система ISDN, определенная в Добавлении III к Рекомендации G.961 MCЭ-T);

Ann. I. Specific requirements for an ADSL system with improved performance on short loops operating in the same cable as ISDN as defined in Appendix III of ITU-T Rec. G.961 (Особые требования к системе ADSL с улучшенными

характеристиками на коротких шлейфах, работающей в том же кабеле, что и ISDN, определенная в Добавлении III к Рекомендации МСЭ-Т G.961);

Ann. H. Specific requirements for a synchronized symmetrical DSL (SSDSL) system operating in the same cable binder as ISDN as defined in ITU-T G.961 Appendix III (Особые требования к синхронизированной симметричной системе DSL (SSDSL), действующей в том же кабеле, что и система ISDN, определенная в Добавлении III к Рекомендации МСЭ-Т G.961);

33 Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.992.2 Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL) без сплиттера));

Ann. A. Non-overlapped spectrum operation (Работа без перекрытия спектров встречных направлений передачи);

Ann. B. Overlapped spectrum operation (Работа с перекрытием спектров встречных направлений передачи);

Ann. C. ADSL above POTS co-existing in the same binder as TCM-ISDN DSL (Одновременное функционирование ADSL поверх POTS в одной и той же среде связи с цифровой абонентской линией TCM-ISDN);

34 Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии 2 (ADSL2));

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особые требования к системе ADSL, работающей в полосе частот выше тональной)

Ann. B. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961 Appendices I and II (Особые требования к системе ADSL, работающей в полосе частот выше занимаемой системой ISDN, определенной в Добавлениях I и II к Рекомендации G.961 МСЭ-Т)

Ann. C. Specific requirements for an ADSL system operating in the same cable as ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961 Appendix III (Особые требования к системе ADSL, работающей в том же кабеле, что и система ISDN, определенная в Добавлении III к Рекомендации G.961 МСЭ-Т)

Ann. C.A. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 1104 kHz and an upstream bandwidth of 138 kHz (Особые требования к базирующейся на Приложении C системе ADSL, работающей в полосе частот 1104 кГц в нисходящем направлении и в полосе частот 138 кГц в восходящем направлении)

Ann. C.B. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 1104 kHz and an upstream bandwidth of 276 kHz (Особые требования к базирующейся на Приложении C системе ADSL, работающей в полосе частот 1104 кГц в нисходящем направлении и в полосе частот 276 кГц в восходящем направлении)

Ann. I. All digital mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over POTS (Система ADSL полностью цифрового режима с улучшенной спектральной совместимостью с системой ADSL поверх POTS)

Ann. J. All digital mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over ISDN (Система ADSL полностью цифрового режима с улучшенной спектральной совместимостью с системой ADSL поверх ISDN)

Ann. L. Specific requirements for a Reach Extended ADSL2 (READSL2) system operating in the frequency band above POTS (Особые требования к системе ADSL2 с увеличенной дальностью действия (READSL2), работающей в полосе частот выше тональной)

Ann. M. Specific requirements for an ADSL system with extended upstream bandwidth, operating in the frequency band above POTS (Особые требования к системе ADSL с расширенной полосой частот восходящего направления передачи, работающей в полосе частот выше тональной)

35 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.992.4 Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии без сплиттера 2);

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особые требования к системе ADSL, работающей в полосе частот выше тональной)

Ann. I. All digital mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over POTS (Система ADSL полностью цифрового режима с улучшенной спектральной совместимостью с системой ADSL поверх POTS)

36 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии – расширенная полоса частот ADSL2 (ADSL2+));

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особые требования к системе ADSL, работающей в полосе частот выше тональной)

Ann. B. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961, Appendices I and II (Особые требования к системе ADSL, работающей в полосе частот выше занимаемой системой ISDN, определенной в Добавлениях I и II к Рекомендации G.961 MCЭ-T)

Ann. C. Specific requirements for an ADSL system operating in the same cable as ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961, Appendix III (Особые требования к системе ADSL, работающей в том же кабеле, что и система ISDN, определенная в Добавлении III к Рекомендации G.961 MCЭ-T)

Ann. C.A. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 2208 kHz and an upstream bandwidth of 138 kHz (Особые требования к базирующейся на Приложении C системе ADSL, работающей в полосе частот 2208 кГц в нисходящем направлении и в полосе частот 138 кГц в восходящем направлении)

Ann. C.B. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 2208 kHz and an upstream bandwidth of 276 kHz (Особые требования к базирующейся на Приложении C системе ADSL,

работающей в полосе частот 2208 кГц в нисходящем направлении и в полосе частот 276 кГц в восходящем направлении)

Ann. I. All Digital Mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over POTS (Система ADSL полностью цифрового режима с улучшенной спектральной совместимостью с системой ADSL поверх POTS)

Ann. J. All Digital Mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over ISDN (Система ADSL полностью цифрового режима с улучшенной спектральной совместимостью с системой ADSL поверх ISDN)

Ann. M. Specific requirements for an ADSL system with extended upstream bandwidth, operating in the frequency band above POTS (Особые требования к системе ADSL с расширенной полосой частот восходящего направления передачи, работающей в полосе частот выше тональной)

37 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.993.1 Very high speed digital subscriber line transceivers (Приемопередатчики сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии);

Ann. E. Requirements for Region B (Europe) (Требования для региона В (Европа))

Ann. F. Regional requirements for environment coexisting with TCM-ISDN DSL as defined in Appendix III/G.961 (Региональные требования для среды, сосуществующей с системой TCM-ISDN DSL, определенной в Добавлении III к Рекомендации G.961 MCЭ-T)

Appendix III 8.625-kHz tone spacing (Разнос между несущими 8,625 кГц)

38 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.993.2 Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2) (Приемопередатчики сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии (VDSL2));

Ann. B . Region B (Europe) (Регион В (Европа))

39 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.995.1 Overview of digital subscriber line (DSL) Recommendations (Обзор Рекомендаций по цифровым абонентским линиям (DSL));

40 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.996.1 Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers (Процедуры тестирования приемопередатчиков цифровой абонентской линии (DSL));

41 Рекомендация ITU-T MCЭ-T G.997.1 Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers (Управление на физическом уровне для приемопередатчиков цифровых абонентских линий);

42 Рекомендация ITU-T MCЭ-T L.19 Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL (Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL);

43 ANSI T1.417 - 2001. American National Standard for Telecommunications. - Spectrum Management for Loop Transmission Systems (Управление спектром для систем передачи по абонентским линиям);

44 ETSI TR 101 830 -2v.1.1.1. Technical Report. Transmission and multiplexing (TM); Access networks; Spectral management on metallic access networks; Part 2: Technical methods for performance evaluation (Передача и

мультиплексирование; Сети доступа. Управление спектром на сетях доступа, построенных на кабелях с металлическими жилами; Часть 2. Технические методы для оценки характеристик);

45 ETSI TS 101 270-1 Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1: Functional requirements (Передача и мультиплексирование; Системы передачи для доступа по металлическим кабелям доступа; Сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия (VDSL); Часть 1: Функциональные требования).



Учебное издание

*Балашов Виталий Александрович  
Воробиевко Петр Петрович  
Лашко Анатолий Григорьевич  
Ляховецкий Леонид Михайлович*

# **Сети и оборудование широкополосного доступа по технологиям xDSL**

Учебное пособие  
для студентов по направлению подготовки  
6050903 «Телекоммуникации»

Сдано в набор 25.10.2010. Подписано в печать 8.10.2010.

Формат 60/88/16      Зак. № 43

Тираж 300 экз. Объем 13,0 п. л.

Отпечатано в издательском центре Одесской национальной академии связи им. А.С. Попова с оригинал-макета на издательском оборудовании фирмы RISO.

© ОНАС, 2010