

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

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

**А.И. КОРОЛЕВ**

***ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ  
ПО АБОНЕНТСКИМ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫМ  
ЛИНИЯМ СВЯЗИ***

Учебное пособие  
по дисциплине  
«Цифровые системы передачи информации»  
для студентов специальности I-45 01 03  
«Сети телекоммуникаций»  
дневной, вечерней и заочной форм обучения

Минск 2005

УДК 621.391.23(075.8)  
ББК 32.811.3 я 73

Рецензент:  
начальник информационно-аналитического центра  
УП НИИ «Гипросвязь» С.И. Каракулько

**Королев А.И.**

К 68      **Высокоскоростные технологии передачи информации по абонентским и соединительным линиям связи: Учеб. пособие по дисциплине “Цифровые системы передачи информации” для студ. спец. I-45 01 03 “Сети телекоммуникаций”.** – Мн.: БГУИР, 2005. – 68 с.: ил.  
ISBN 985-444-763-4

В учебном пособии приводятся общие сведения о линейных кодах и сигналах, используемых в современных цифровых системах уплотнения, а также рассматриваются высокоскоростные технологии передачи информации по абонентским линиям связи существующих местных сетей связи.

УДК 621.391.23(075.8)  
ББК 32.811.3 я 73

ISBN 985-444-763-4

© Королев А. И., 2005  
© БГУИР, 2005

## Список основных сокращений

### Русские сокращения:

АВУ – абонентское высокочастотное уплотнение

АДИКМ – адаптивная дифференциальная ИКМ

АИКМ – адаптивная ИКМ

АЛ – абонентская линия

АЛС – абонентская линия связи

АП – 1 – абонентская проводка,

2 – абонентский пункт

АТ – абонентский телеграф

АТС – автоматическая телефонная станция

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи

ВПП – витая пара проводников

ГТС – городская телефонная сеть

ДЕКОДЕР – декодирующее устройство

ДП – дистанционное питание

ДЕМОД – демодулятор

ДС – дифференциальная система

ДМ – дельта-модуляция

ЗАО – закрытое акционерное общество

ИКМ – импульсно-кодовая модуляция

ИО – индивидуальное оборудование

ИП – источник питания

КОДЕР – кодирующее устройство

КИ – канальный интервал

КС – канал связи

КСА – комплект спаренных аппаратов

КТЧ – канал тональной частоты

ЛК – линейный комплект

ЛС – линейный сигнал  
ЛТр – линейный трансформатор  
МОД – модулятор  
НТЦ – научно-технический центр  
ОЛТ – оконечный линейный терминал  
ОЦК – основной цифровой канал  
ПД – передача данных  
Рег. С – регенератор сигналов  
РГС – регенератор сигналов  
РШ – распределительный шкаф  
С – селектор  
СД – сеть доступа  
СЛ – соединительная линия  
СОТ – стационарный полуконспект терминала  
СС – служебная связь  
СУ – сигнал управления  
СТС – сельские телефонные сети  
ТА – телефонный аппарат  
ТФОП – телефонная сеть общего пользования  
ЦАЛС – цифровая абонентская линия связи  
ЦАП – цифроаналоговый преобразователь  
ЦСИО – цифровая сеть интегрального обслуживания  
ЦСП – цифровая система передачи  
ЦСПАЛ – цифровая система передачи для абонентских линий  
ЦТРПИ – цифровой тракт передачи информации  
ЦАУАЛ – цифровая аппаратура уплотнения абонентских линий

### **Английские сокращения:**

ADSL (Asymmetric DSL ) – асимметричная цифровая абонентская линия

ATM (Asynchronous Transfer Mode) – режим асинхронной передачи

CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation ) – амплитудно-фазовая модуляция (АФМ) без передачи несущей

COT (Central Office Terminal) – стационарный терминал (полукомплект)

DLC (Digital Loop Carrier) – цифровая распределительная сеть

DMT (Discrete Multi-Tone) – дискретная (цифровая) многочастотная модуляция

DQPSK (Diferencial QPSK) – дифференциальная (относительная) квадратурная фазовая манипуляция

DSL (Digital Subscriber Loop) – цифровая абонентская линия

ETSI (European Telecommunications Standard Institute ) – Европейский институт телекоммуникационных стандартов

FDD (Frequency Division Duplex) – дуплексный канал с частотным разделением

FSK (Frequency Shift Keying) – частотная модуляция

HDLC (High Level Data Link) – высокоуровневое управление каналом передачи данных

HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Loop) – высокоскоростная цифровая абонентская линия связи

ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифровая сеть интегрального обслуживания

ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunications Standardization Sector) – Международный союз электросвязи; сектор стандартизации электросвязи

LTU (Line Terminal Unit) – линейный полукомплект, устанавливаемый на станции

MSDSL (Multi Rate Single pair DSL) – многоскоростная цифровая абонентская линия связи с использованием одной пары проводников

NT (Network Terminal) – сетевой (абонентский) терминал

NTU (Network Terminal Unit) – сетевой терминал (полукомплект), устанавливаемый у пользователя сети

QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) – квадратурная фазовая манипуляция

RADSL (Rate Adaptive DSL) – ЦАЛ с изменяемой скоростью передачи информации

RNT (Remote Network Terminal) – удаленный сетевой терминал

RRR (Repeater) – регенератор; повторитель

RT (Remote Terminal) – удаленный терминал (абонентский полукомплект)

RTU (Remote Terminal Unit) – абонентский оконечный блок

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронная цифровая иерархия

SDSL (Single Pair Symmetrical Digital Subscriber Loop) – высокоскоростная цифровая абонентская линия, организуемая по одной паре проводников

STM (Synchronous Transport Module) – синхронный транспортный модуль сети

SDN

TA (Terminal Adapter) – терминальный адаптер

TDD (Time Division Duplex) – дуплексный канал с временным разделением

TX (Transmitter) – передатчик

UDSL (Universal DSL) – универсальная ЦАЛ

VDSL (Very High Speed DSL) – сверхвысокоскоростная DSL

VT (Video Terminal) – видеотерминал

## Введение

При высоких темпах развития высокоскоростных технологий передачи информации по каналам магистральных и зонавых сетей связи наиболее слабым местом в организации высокоскоростных цифровых трактов передачи информации (ЦТПИ) является использование низкоскоростных технологий передачи информации по абонентским линиям связи (АЛС), т.е. по физическим цепям местных сетей связи. Применение высокоскоростных ( $B = 56$  Кбит/с) аналоговых модемов, осуществляющих передачу информации (ПИ) в полосе частот стандартного канала тональной частоты (КТЧ), не позволяет решить данную проблему, так как скорость ПИ  $B = 56$  Кбит/с близка к теоретическому пределу для данных каналов связи.

Интенсивное развитие компьютерных и сетевых технологий требует применения высокоскоростных методов ПИ на абонентских участках ЦТПИ, т.е. организации и реализации так называемого широкополосного абонентского доступа. По экспертным оценкам Technology Futures, потребность в увеличении пропускной способности ПИ на абонентских участках ЦТПИ будет за каждые пять лет возрастать в четыре раза и достигнет 100 Мбит/с к 2015 г.

Физической средой подавляющего большинства АЛС являются медные жилы различного диаметра, обеспечивающие соответственно различный частотный диапазон и затухание сигнала. АЛС выполняются в виде пар проводников с различным шагом скрутки. Необходимость увеличения скорости ПИ по АЛС можно определить как задачу (проблему) цифровизации витых медных пар проводников АЛС. Данную задачу можно решить путем организации цифровых каналов связи на основе применения цифровых систем передачи, использующих современные высокоскоростные технологии цифровой передачи информации. В учебном пособии дается определение терминов и рассматриваются принципы реализации основных технологий передачи информации по АЛС, выполненных на основе витых медных пар проводников (ВПП).

# 1. Качественные и количественные характеристики

## абонентских линий связи

При классическом, или традиционном, варианте аналоговый телефонный аппарат (ТА) подключается к аналоговым портам автоматической телефонной станции (АТС) медной парой проводников, получившей название абонентской линии связи, имеющей диаметр жил от 0,34 до 1,2 мм. Протяженность АЛС в странах СНГ от 2 до 15 км; сельские АЛС могут иметь протяженность более 15 км. АЛС стран СНГ имеют различное назначение и применяются для [1, 2]:

- 1) делового сектора (предприятия, учреждения и т.д.);
- 2) квартирного сектора индивидуального или коммунального пользования;
- 3) таксофонов местной связи, позволяющих устанавливать только исходящие соединения;
- 4) таксофонов междугородной телефонной связи;
- 5) таксофонов для связи с плановыми сервисными службами (например справочными);
- 6) переговорных пунктов для междугородной и внутризоновой связи (с сервисным исканием по входящей связи);
- 7) обеспечивающие подключение ПЭВМ с соответствующими модемами;
- 8) обеспечивающие подключение факсимильных аппаратов.

Основные электрические характеристики АЛС [1, 2]:

- сопротивление шлейфа АЛС, включая сопротивление ТА, не более 1800 Ом;
- сопротивление шлейфа (короткозамкнутой цепи проводов АЛС) не более 1000 Ом, для удаленных абонентов не более 2000 Ом; для некоторых типов учреждений АТС допускается увеличенное предельное значение сопротивления, равное 3000 Ом;



- емкость между проводами и по отношению к земле не более 0,5 мФ: для линии удаленных абонентов допускается предельное значение емкости, равное 1,0 мФ;
- сопротивление изоляции между проводами или между каждым проводом и землей (сопротивление утечки) не менее 20 кОм: для некоторых типов АТС, например, для АТСК, данное сопротивление должно быть равно 80 кОм;
- собственное затухание не должно превышать 4,5 дБ (для кабелей связи с диаметром жил 0,5 мм) и не более 3,5 дБ (для кабелей связи с диаметром жил 0,32 мм);
- переходное затухание на ближнем конце (к АТС) между цепями двух соседних АЛС не должно превышать 69,5 дБ.

Передача информации по АЛС может быть выполнена с использованием способа, изображенного на рис.1.1.

Из данной схемы следует, что при передаче информации по АЛС выполняются шесть основных операций, а именно: *скремблирование, кодирование и модуляция* – при передаче информации и *демодуляция, декодирование и дескремблирование* – при приеме информации.

С целью повышения стабильности признаков тактовой частоты на передающей стороне осуществляется дополнительное преобразование статистических свойств последовательностей двоичных символов. Данная процедура преобразования информации носит название *скремблирование*. На приемной стороне осуществляется обратная процедура, т.е. *дескремблирование* информации. В связи с тем, что вопросы скремблирования (*рандомизации*) информации требуют отдельного изучения, то далее они не рассматриваются.

Под *кодированием* информации понимают процесс отображения дискретных символов сообщений последовательностью заранее выбранных символов, называемых кодовыми словами; операция кодирования в цифровых системах уплотнения (ЦСУ) для АЛС, а в общем для кабельных и воздушных линий связи, не является обязательной [1 – 4].

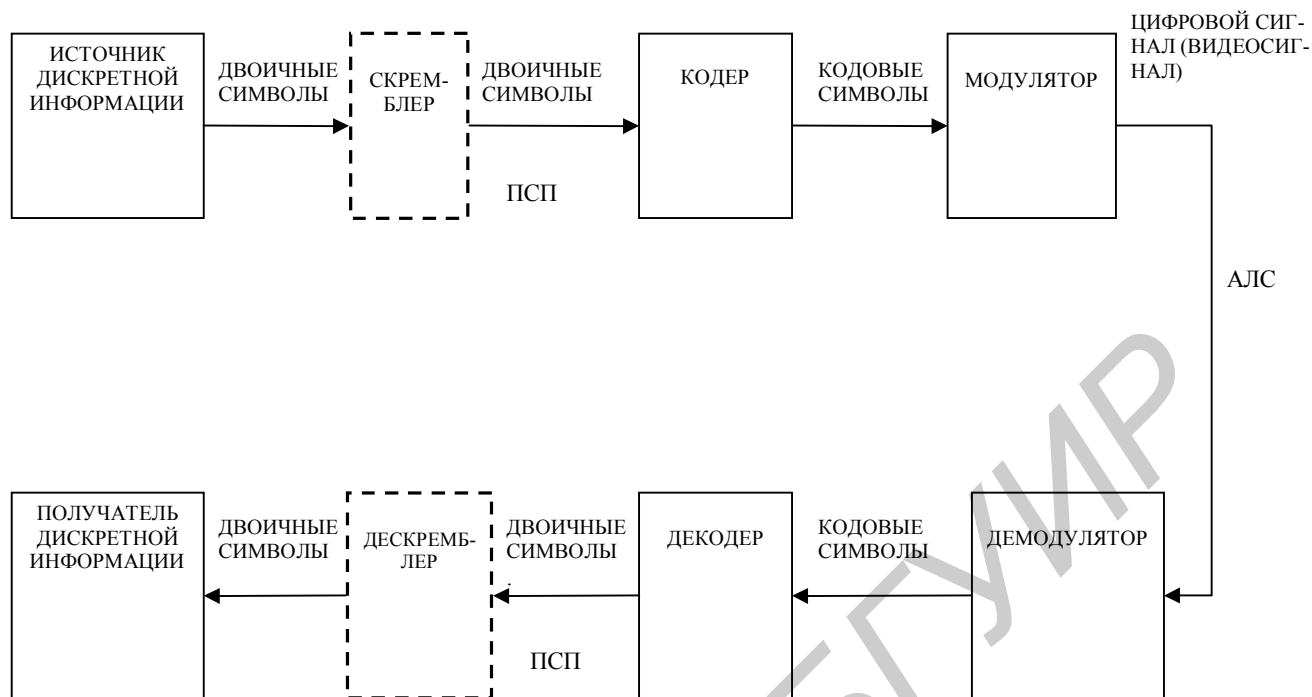


Рис.1.1. Обобщенная структурная схема способа передачи цифровой информации по АЛС

Под процессом *модуляция* понимают изменение параметров несущей частоты в зависимости от передаваемого кодового символа. Переносчиком кодовых символов в ЦСУ для АЛС могут быть параметры постоянного тока, а именно *полярность, амплитуда и длительность видеоимпульса*. Следует отметить, что видеоимпульсные сигналы трудно разделить по видам модуляции.

## 2. Коды и сигналы для цифровых систем уплотнения абонентских линий связи

### 2.1. Коды для цифровых систем уплотнения абонентских линий связи

Данные коды носят название *линейных кодов* (ЛК) и служат для повышения стабильности признаков тактовой частоты и увеличения пропускной способности цифровых трактов передачи информации или линий связи. Таким об-

разом, название данных кодов определяется их назначением [1, 2, 4–6]. Необходимо заметить, что, несмотря на использование термина «код», в большинстве случаев коды одновременно являются *многоэлементными сигналами*, например, как ЛК типов 2B1Q, HDB-3 и др.

Известные линейные коды делятся на две большие группы: в первую группу входят *алфавитные коды*, а во вторую группу – *неалфавитные* [2, 4].

*Алфавитные коды* – это такие линейные коды, у которых « $m$ » ( $m \geq 1$ ) двоичных символов исходного информационного слова (сообщения) преобразуются в « $n$ » ( $n \geq 2$ ) кодовых символов выходного сообщения с основанием « $L$ ». Сущность алфавитного кодирования дискретной информации состоит в делении последовательности входных (передаваемых) двоичных символов на группы символов с постоянным числом тактовых интервалов и в последующем их преобразовании по определенному алфавиту в группы символов с новым основанием счисления и, как правило, с новым количеством тактовых интервалов.

Алфавитные коды имеют общее обозначение как « $mBnL$ ». При  $B$  (binary-двоичные), равным  $L$ , линейные коды называются *двоичными*. Если основание счисления равно трем (Ternary), то линейные коды называются *троичными*, а при основании счисления, равном четырем (Quaternary), линейные коды будут относиться к классу *четверичных кодов* и т.д. Так, тип ЛК 1B2B указывает, что один двоичный символ преобразуется в группу из двух двоичных символов, а запись ЛК 4B3T означает, что каждая группа из четырех двоичных символов преобразуется в группу из трех троичных символов.

Если  $2^m = 2^n$ , то двоичный алфавитный ЛК является *безызбыточным*, а при  $2^m < 2^n$  – *избыточным*. Для однозначности декодирования алфавитных ЛК необходимо выполнение условия

$$2^m \leq L^n . \quad (2.1)$$

Избыточность алфавитных ЛК обеспечивается за счет увеличения либо тактовой частоты при считывании кодовых символов (например, как у ЛК 2B3B, тактовая частота считывания увеличивается в 1,5 раза), либо основания сформированного кодового слова (например, как у ЛК 1B1T – один двоичный

символ исходного информационного сообщения представляется одним троичным кодовым символом (трехуровневым сигналом)).

*Неалфавитные коды* – это такие линейные коды, у которых изменение статистических свойств исходной последовательности двоичных символов происходит при неизменной тактовой частоте за счет изменения её структуры; увеличения или уменьшения количества следующих подряд 1 и 0. Отсутствие эффекта увеличения выходной скорости передачи кодовых символов позволяет увеличить длину регенеративного участка линии связи. Неалфавитные линейные коды не имеют общего обозначения как алфавитные линейные коды. К неалфавитным ЛК относятся коды типа BnZS, HDBn, CHDBn и др. Широко известен неалфавитный ЛК типа HDB-3, который является модификацией кода АМІ (Alternative Mark Inversion – код с чередованием полярности импульсов). Модификация кода АМІ состоит в том, что код HDB-3 уменьшает число нулей (0) в нулевом пакете до трех. Процесс кодирования можно представить в виде табл. 2.1.

Таблица 2.1

Процесс кодирования входной информации кодом HDB-3

Комбинация входных двоичных символов	Комбинация символов кода HDB-3	Число символов « $B^*$ » после предыдущего символа « $V^*$ »
0 0 0 0	0 0 0 $V$	Нечетное
	$B$ 0 0 $V$	Четное

$B^*$  и  $V^* = \pm 1$  – при нарушении закона чередования полярностей.

При появлении подряд четырех нулевых двоичных символов во входной информации их последовательность (структуру) заменяют комбинацией  $a_1 = 000V$  или  $a_2 = B00V$ . Значения  $a_1$  и  $a_2$  выбирают таким образом, чтобы полярность символа « $B$ » была противоположна полярности предшествующего символа (импульса), а полярность символа (импульса) « $V$ » повторяла полярность предшествующего символа (импульса). Число ненулевых двоичных символов между соседними символами (импульсами) « $V$ » должно быть нечетным. К преимуществу кода относится возможность обнаружения ошибок, а к недостатку – размножение ошибок.

На рис. 2.1 приведены в качестве примера эюры кодовых слов при кодировании двоичных символов передаваемой информации следующими линейными кодами:

- а) *однополярным*;
- б) *двухполярным*;
- в) *СМІ (Code Mark Inversion – однополярный код с инверсией)*;
- г) *Миллера*;
- д) *абсолютным биимпульсным (манчестерским кодом № 1(М1))*;
- е) *относительным биимпульсным (манчестерским кодом № 2(М2))*.

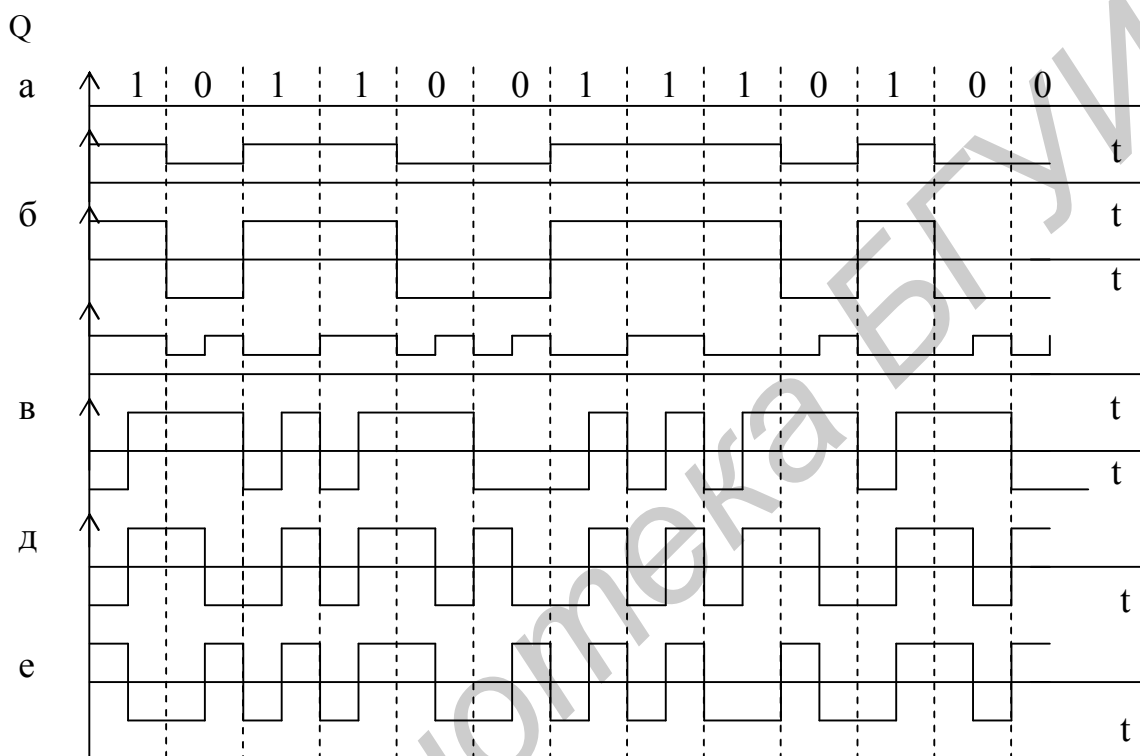


Рис. 2.1. Эюры кодовых последовательностей при кодировании информационных символов линейными кодами

Преимуществами *однополярного* и *двухполярного* ЛК является простота алгоритмов кодирования и декодирования кодов. Недостатками являются широкий спектр сигнала и низкая помехоустойчивость.

При использовании кода *СМІ* передача логической единицы (ненулевого символа) производится без изменения длительности символа, но со сменой полярности символа относительно полярности предыдущего символа. Логический ноль (нулевой символ) передается биимпульсами (+ - ) и (- +), причем полярность первого биимпульса противоположна полярности предыдущего символа (биимпульса). Код *СМІ* может быть *однополярным*, *двухполярным*, *прямым* и *инверсным*.

Преимуществами кода *СМ* являются отсутствие постоянной составляющей в спектре сигнала, самосинхронизируемость кода и достаточная узкополосность спектра. Недостатком является сложность алгоритмов кодирования и декодирования кода.

В коде *Миллера* одиночный нулевой символ (0) сохраняет длительность импульса (символа) без изменения, а последовательности нулевых символов инвертируются через символ. Ненулевые символы передаются биимпульсами, причем полярность первого биимпульса продолжает полярность предыдущего нулевого символа или биимпульса ненулевого символа.

Достоинством кода Миллера является простота алгоритмов кодирования и декодирования, а недостатком – широкополосность спектра.

В *манчестерском коде М1* ненулевой символ передается биимпульсами (- +), а нулевой символ – биимпульсами (+ -). В *манчестерском коде М2* ненулевой символ передается биимпульсами (+ -), а нулевой символ – биимпульсами (- +), но с изменением полярности символа при последовательной передаче нулевых символов.

Преимуществами кодов *М1* и *М2* являются: простота алгоритмов кодирования и декодирования, узкополосность спектра, самосинхронизируемость кодов и отсутствие постоянной составляющей в спектре сигнала. Недостатком кодов *М1* и *М2* является возможность размножения ошибок, при этом в зависимости от типа ЛК, канала связи или АЛ вместо одной ошибки в линейном сигнале могут возникать две, три и более ошибок в восстановленной последовательности двоичных символов.

К основным параметрам *алфавитных ЛК* относятся [2, 4 – 6]:

1)  $B^m$  - количество групп двоичных символов;  
2)  $L^n$  - количество групп символа кода. Данные параметры ЛК характеризуют сложность реализации процессов кодирования и декодирования соответственно;

3)  $k_T = m/n$  – коэффициент изменения тактовой частоты;

4)  $k_{T_{\max}} = \log_2 L$  – предельный коэффициент изменения тактовой частоты;

5)  $r_{II} = 1 - m / (\log_2 L)$  – информационная избыточность кода;

6)  $r_{преобр} = (L^n - B^m) / L^n$  – избыточность преобразования;

7)  $\kappa_{nx} = 20 \lg \frac{L-1}{B-1}$  – коэффициент уменьшения помехоустойчивости кода;

8)  $\eta = 1 - B^m / L^n$  – коэффициент невыявленных ошибочных кодовых слов;

9)  $\kappa_P = \frac{n_{ош.пр}}{n_{кан.ош}}$  – коэффициент размножения ошибок, здесь  $n_{ош.пр}$  – количество ошибочно принятых кодовых слов,  $n_{кан.ош}$  – количество ошибочных канальных кодовых слов.

В табл.2.2 приведены значения параметров некоторых алфавитных ЛК.

В табл.2.2 приведены значения параметров некоторых алфавитных ЛК.

Таблица 2.2

Параметры алфавитных линейных кодов

Тип кода	$2^m$	$L^n$	$\kappa_m$	$r_u, \%$	Тип кода	$2^m$	$L^n$	$\kappa_m$	$r_u, \%$
3B2T	8	9	1,5	5,66	2B1QI*	4	5	2,0	16
4B3T	16	27	1,33	18,87	5B2S*	32	36	2,5	3,4
9B6Q*	512	2048	1,5	33	8B3H*	256	343	2,66	5,3

Здесь основания счисления: Q – четверичное, QI – пятеричное, S – шестеричное, H – семеричное.

Следует отметить, что в первичных и вторичных цифровых системах передачи, используемых на местных и внутризональных сетях связи с относительно малой протяжённостью линейного тракта, снижение тактовой частоты передаваемого сигнала при преобразовании ЛК не производится, так как возникающее при этом усложнение реализации промежуточного и оконечного оборудования не компенсируется сокращением количества необслуживаемых регенераторов сигнала.

Одним из важнейших параметров, используемых при сравнительной оценке кодов, в спектре которых практически отсутствует постоянная составляющая, т.е. балансных кодов, является диапазон, в пределах которого может

изменяться текущее значение цифровой суммы символов кодовой последовательности, которое определяется выражением

$$z_{i+j} = z_i + \sum_{\eta=1}^j \alpha_{j\eta} \quad , \quad (2.2)$$

где  $i, j$  – любые целые числа,  $\alpha_{\eta}$  – значение символа, переданного в  $\eta$ -м тактовом интервале.

Каждому балансному коду соответствует свой диапазон изменения текущей цифровой суммы, который определяет уровень низкочастотных составляющих в спектре сигнала. Следовательно, если контролировать на приёме значение  $z_{i+j}$ , то в случае превышения им известных границ диапазона могут быть обнаружены ошибки.

Из вышеизложенного следует, что при разработке новых или модификации известных ЛК необходимо обеспечивать [2,4 – 6]:

- 1) простоту алгоритмов кодирования и декодирования кодов;
- 2) минимальную сложность реализации кодеков ЛК;
- 3) требуемую скорость и достоверность передачи информации;
- 4) минимальную избыточность кодов;
- 5) самосинхронизируемость кодов;
- 6) исключение эффекта размножения ошибок;
- 7) однозначность декодирования кодов;
- 8) совместное использование с помехоустойчивыми кодами;
- 9) возможность использования линейных трактов с различными типами среды передачи информации и др.

Помехоустойчивость и пропускная способность цифровых трактов передачи информации существенно зависят от используемых линейных сигналов.

## **2.2. Линейные сигналы для цифровых систем уплотнения абонентских линий связи**

*Линейные сигналы* (ЛС) предназначены для полного электрического согласования ЦСП (У) с электрическими характеристиками АЛС и на основе этого увеличения дальности передачи информации.



Принято считать, что элементом видеоимпульсного сигнала является любое возможное сочетание видеоимпульсов и пауз внутри тактового интервала ( $T$ ), отведённого для передачи одного символа информации [2 – 4].

Если принять, что импульсы имеют прямоугольную форму, их длительность равна  $T$  или  $T/2$ , передний фронт совпадает с началом или серединой тактового интервала, а амплитуда сигнала равна  $U/2$ , то возможное число разнотипных элементов видеоимпульсных сигналов  $S_k(t)$  равно девяти (рис.2.2).

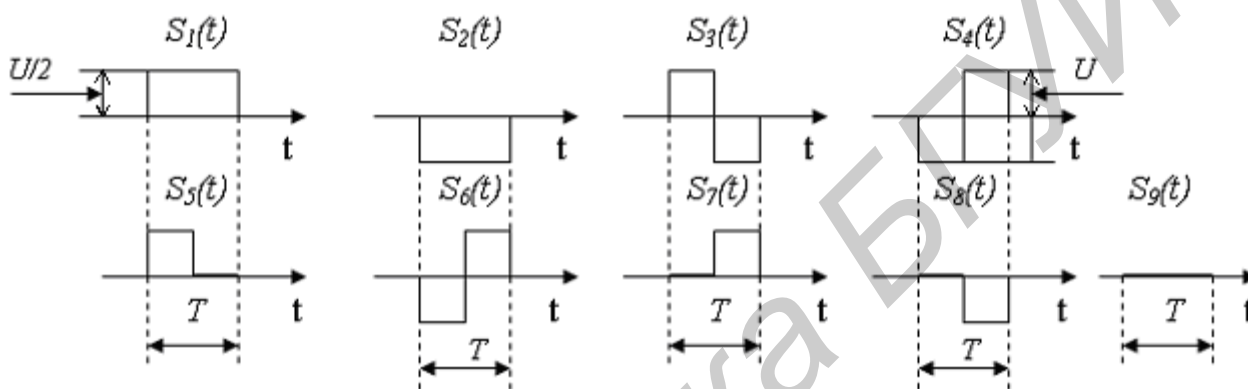


Рис.2.2. Элементы видеоимпульсных сигналов

При передаче двоичных символов 1 и 0 входной информации можно использовать комбинации двух любых элементов видеоимпульсного сигнала  $S_i(t)$  и  $S_j(t)$ . В этом случае число двоичных видеоимпульсных сигналов  $C_2^9 = 36$ . Кроме того, в ЦСП используются *многоэлементные видеоимпульсные сигналы* (передача одного двоичного символа входной информации осуществляется с помощью нескольких элементов), а также *многопозиционная (многоуровневая) модуляция* отдельных элементов (например, для каждого элемента предусматривается несколько градаций амплитуды). Некоторые такие видеоимпульсные сигналы будут рассмотрены далее.

Известные способы формирования ЛС классифицируются по следующим признакам их различия [2 – 4]:

- 1) по числу уровней в сигнале:
  - *двухуровневые*,

- *многоуровневые;*
- 2) по принципу формирования сигналов:
  - *абсолютные,*
  - *относительные;*
- 3) по числу элементов в сигнале:
  - *одномерные,*
  - *многомерные.*

Следует отметить, что, несмотря на большое количество видеоимпульсных сигналов, многие из них не соответствуют требованиям, предъявляемым к цифровым сигналам.

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к ЛС, являются следующие [1 – 4]:

- 1) обеспечение заданной скорости, помехоустойчивости и помехозащищённости передачи информации;
- 2) эффективное использование полосы частот канала связи;
- 3) возможность использования для передачи информации различных по среде передачи линий связи;
- 4) отсутствие в спектре сигнала несущей частоты и постоянной составляющей;
- 5) минимальная внеполосность излучения;
- 6) минимальная сложность фазирования сигналов;
- 7) минимальная сложность алгоритмов формирования сигналов;
- 8) минимальная сложность устройств формирования и дешифрации сигналов.

Для количественной оценки эффективности ЛС используются следующие параметры:

- а) потенциальная помехоустойчивость сигнала, определяющая коэффициент ошибок системы передачи информации – зависит от «эквивалентной» мощности  $P_{\text{экв}}$  сигнала и его элементов  $S_i(t)$  и  $S_j(t)$  и определяется следующим выражением [3]:

$$P_{\text{экв}} = \frac{1}{T} \int_0^T [S_i(t) - S_j(t)]^2 dt . \quad (2.3)$$

Данное выражение позволяет рассчитать потенциальную помехоустойчивость ЛС при идеальных условиях передачи информации;

б)  $\kappa_{\text{онх}} = 10 \lg(P_{\text{экв}}/P_{\text{экв max}})$  – коэффициент относительной помехоустойчивости. Данный коэффициент показывает, на какую величину отличается потенциальная помехоустойчивость от предельной. Предельной помехоустойчивостью обладают сигналы, элементы которых противоположны и удовлетворяют равенству  $S_i(t) = -S_j(t)$ . Так, например, для ЛС, приведенных на рис.2.3, последнее условие выполняется только для двух видов ЛС, а именно, с элементами  $S_1(t), S_2(t)$  и  $S_3(t), S_4(t)$ . Эквивалентная мощность (2.3) каждой пары отражает предельную потенциальную помехоустойчивость цифровых сигналов  $P_{\text{экв max}} = U^2$ ;

в)  $\kappa_T = P_{\Sigma \text{ min}} / P_{\Sigma \text{ max}}$  – коэффициент устойчивости признаков тактовой частоты, где  $P_{\Sigma \text{ min}}, P_{\Sigma \text{ max}}$  – минимальная и максимальная вероятности изменения модулируемого параметра на тактовом интервале.

г)  $f_{\text{верх min}}$  – условная частота, определяющая минимальную верхнюю частоту спектра сигнала и равная первой гармонике периодической последовательности таких элементов сигнала, для которых она максимальна. Данный параметр чаще всего выражается через тактовую частоту сигнала  $f_T$ . Так, например, для сигнала АМ1  $f_{\text{верх min}} = f_T/2$ , а для сигналов М1 и М2  $f_{\text{верх min}} = f_T$ ;

д) важнейшим параметром ЛС является ширина спектра сигнала  $\Delta F_c$ , или просто спектр сигнала. Принято различать ЛС с *узкополосным спектром* –  $\Delta F_c \leq (1-1,5)V$  Гц и *широкополосным спектром* –  $\Delta F_c \geq 2V$  Гц, где  $V$  – скорость передачи информации, измеряемая в бит/с. На рис.2.3 представлены спектры ЛС:

1 – САР-128 или АФМ-128 – амплитудно-фазовая модуляция без передачи несущей частоты,

2 – 2В1Q – четверичный код (сигнал),

3 – HDB-3 – неалфавитный линейный код.

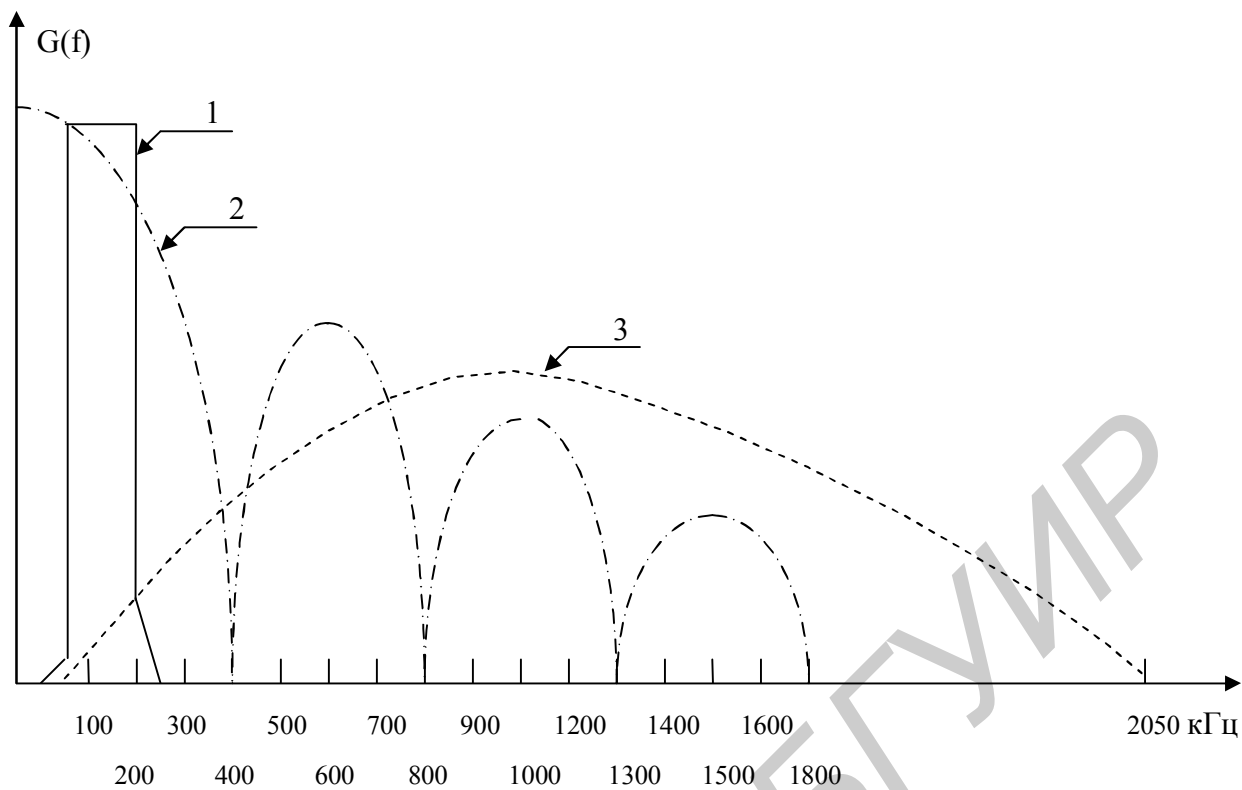


Рис.2.3. Спектры сигналов *CAP-128* (1), *2B1Q* (2) и *HDB-3*(3)

Из данного рисунка видно, что наиболее узкополосный спектр обеспечивает ЛС *CAP*, при этом *CAP-64* обеспечивает удельную скорость передачи информации  $\gamma = B/\Delta F_k = 6 \text{ бит/Гц}\cdot\text{с}^{-1}$ , а *CAP-128* –  $7 \text{ бит/Гц}\cdot\text{с}^{-1}$ . Спектр сигнала располагается в низкочастотной части спектра АЛС и телефонных кабелей связи, где уровень помех, наводимых от электрорадиоустановок, меньше, чем в спектре частот 4кГц. Помехи от сигнала *CAP* могут быть в диапазоне (40 – 260) кГц, а поэтому, если передача информации ведётся с использованием сигнала *CAP* по кабелю связи, где также организована передача аналоговых сигналов, то необходимо либо уменьшить уровень сигнала *CAP*, либо настроить аналоговую систему на частоту выше 260 кГц. Так как спектр сигнала *CAP* заканчивается частотой  $f = 260 \text{ кГц}$  и в нем отсутствуют несущая частота и постоянная составляющая, то передача сигнала (информации) обеспечивается на большее расстояние, чем ЛС *2B1Q* и *HDB-3*.

Преимуществом *CAP* является низкая чувствительность к качеству кабеля связи, а именно к следующим параметрам: стабильности шага повива, типам

скрутки жил, изоляции и т.д. Модуляция *САР* была разработана компанией *AT&T* применительно к высокоскоростной технологии передачи информации *HDLS*.

Наихудший спектр имеет четверичный сигнал (код) 2В1Q; спектр сигнала широкополосный, имеет постоянную составляющую и много гармонических составляющих с достаточно большими значениями амплитуд.

Линейный сигнал (код) HDB-3 имеет широкий спектр (от 100 до 2048 кГц), но он достаточно сбалансированный. Данный сигнал обеспечивает удельную скорость передачи информации, равную 1 бит/Гц·с<sup>-1</sup>.

Дальность передачи информации для рассмотренных ЛС зависит от количества телефонных пар, используемых одновременно для передачи информации, и диаметра жил. При равных условиях ЛС *САР* обеспечивает в 1,6 раза большую дальность передачи информации, чем ЛС 2В1Q и HDB-3.

### **3. Высокоскоростные цифровые технологии, используемые на абонентских линиях связи**

#### **3. 1. Классификация и краткая характеристика способов (технологий) высокоскоростной передачи информации по абонентским линиям связи**

Существенным недостатком аналоговых способов передачи информации по АЛС является низкая скорость, которая составляет порядка 56 Кбит/с. Современные системы и способы передачи данных на основе использования цифровых АЛС (ЦАЛС) обеспечивают передачу информации от 32 Кбит/с до 50 Мбит/с без модернизации абонентских телефонных линий связи, сохраняя при этом возможность передачи аналоговых телефонных сигналов. В этом – главное преимущество новых цифровых систем и способов передачи данных, получивших название в сетях телекоммуникаций *технологий DSL* (*DSL* – Digital Subscriber Line – *цифровая абонентская линия*)[1,5 – 8].

В настоящее время сети телекоммуникаций используют различные типы технологий *DSL*, из которых наиболее известными являются *ADSL*, *R-ADSL*, *ADSL-Lite*, *IDSL*, *HDSL*, *SDSL*, *VDSL* и *MDSL*. Данные технологии *DSL* имеют разные скорости передачи данных как от сети к пользователю (нисходящая скорость), так и от пользователя в сеть (восходящая скорость), а также обеспечивают передачу информации на разные расстояния. Особенности данных технологий *DSL* состоят в следующем [6 – 10].

1. *Технология ADSL* (Asymmetric Digital Subscriber Line - *асимметричная цифровая абонентская линия*) обеспечивает скорость «нисходящего» потока данных в пределах от 1,5 до 8 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных от 640 Кбит/с до 1,5 Мбит/с. *ADSL* позволяет передавать данные со скоростью 1,54 Мбит/с на расстояние до 5,5 км по одной витой паре проводов с диаметром жил 0,5 мм с использованием модемов на каждом конце линии. Скорость передачи порядка 6-8 Мбит/с может быть достигнута при передаче данных на расстояние не более 3,5 км с использованием проводов диаметром 0,5 мм. Асимметрия в скоростях ПД в сочетании с состоянием «постоянно установленного соединения» (когда исключается необходимость каждый раз набирать телефонный номер и ждать установки соединения) делает данную технологию идеальной для организации доступа в сеть Интернет, к локальным сетям и т.п. Следует отметить, что асимметрия скоростей потоков информации (данных) связана не столько с методом передачи, сколько со структурой типичного кабельного хозяйства – из-за наводок и связей в многопарном кабеле ГТС передача симметричного сигнала затруднена.

2. *Технология R-ADSL* (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – *цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения*) обеспечивает такую же скорость ПД, что и технология *ADSL*, но при этом позволяет адаптировать скорость ПД к протяжённости и состоянию применяемой АЛС. При использовании данной технологии соединение на разных телефонных линиях будет иметь разную скорость ПД. Скорость ПД может выбираться как при синхронизации линии, так и во время соединения, а также по сигналу, поступающему от телефонной станции.

3. *Технология ADSL-Lite* (Asymmetric Digital Subscriber Line Lite - *асимметричная цифровая абонентская линия связи*) представляет собой низкоскоростной вариант технологии *ADSL*, обеспечивающий скорость «нисходящего» потока данных до 1 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных до 512 Кбит/с. Данная технология позволяет передавать данные по более длинным линиям, чем *ADSL*, более проста в установке и имеет меньшую стоимость.

4. *Технология IDSL* (ISDN Digital Subscriber Line – *цифровая абонентская линия*) обеспечивает полностью дуплексную ПД на скорости 144 Кбит/с с использованием соответствующих модемов на каждом конце линии. В отличие от *ADSL* возможности *IDSL* ограничиваются только ПД. Несмотря на то, что *IDSL* так же, как и *ISDN*, используют модуляцию 2B1Q, между ними имеется только одно отличие, а именно: линия *IDSL* является некоммутируемой и находится в состоянии «постоянно включённой» (как и любая линия, организованная с использованием технологии *DSL*).

5. *Технология HDSL* (High Bit-Rate Digital Subscriber Line – *высокоскоростная цифровая абонентская линия*) предусматривает организацию симметричной линии ПД, т.е. скорости ПД от пользователя в сеть и из сети к пользователю равны. *HDSL* обеспечивает скорости ПД: 1,544 Мбит/с – по двум парам проводов и 2,048 Мбит/с – по трём парам проводов с использованием соответствующих модемов на каждом конце линии. Телекоммуникационные компании используют технологию *HDSL* в качестве альтернативы линиям *T1/E1*; линии *T1* используются в Северной Америке и обеспечивают скорость ПД 1,544 Кбит/с, а линии *E1* используются в Европе и обеспечивают скорость ПД 2,048 Мбит/с. Следует отметить, что технологии *T1/E1* на основе кода *AMI* неэффективны для работы по АЛС вследствие следующих причин: во-первых, требования по полосе частот сильно влияют на спектральные характеристики многопарного кабеля и не позволяют использовать более одной витой пары в 50-парном кабеле ГТС; во-вторых, большая асимметричность скоростей передачи (потоки к пользователю значительно превышают потоки обратные). Технология *HDSL* обеспечивает ПД на расстояние порядка 3,5-4,5 км, что меньше, чем при использовании технологии *ADSL*. Для увеличения дальности ПД требуется ус-

тановка специальных повторителей сигналов. Разработана и используется новая технология *HDSLII*, которая обеспечивает характеристики, аналогичные технологии *HDSL*, но при этом используется только одна пара проводов.

6. *Технология SDSL* (Single Line Digital Subscriber Line – *однолинейная цифровая абонентская линия*) обеспечивает симметричную ПД со скоростями, равными для *T1/E1*, но при этом технология *SDSL* имеет два важных отличия. Во-первых, используется только одна витая пара кабеля ГТС, а во-вторых, максимальное расстояние передачи составляет 3 км. В пределах этого расстояния технология *SDSL* обеспечивает, например, проведение видеоконференций, когда требуется поддерживать равные скорости ПД в оба направления. В определённом плане технология *SDSL* является основой развития технологии *HDSLII*.

7. *Технология VDSL* (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line - *сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия*) обеспечивает скорость ПД «нисходящего» потока в пределах от 13 до 52 Мбит/с, а «восходящего» потока – в пределах от 1,5 до 2,3 Мбит/с по одной витой паре кабеля ГТС с дальностью передачи данных от 300 до 1300 м. Технология *VDSL* может использоваться с теми же целями, что и *ADSL*. Кроме того, она может использоваться для передачи телевидения высокой чёткости (*HDTV*), видео по запросу и т.п.

8. *Технология MDSL* (Multi (Medium) Digital Subscriber Line – *широкополосная цифровая абонентская линия*) обеспечивает скорость передачи данных от 144 до 2064 Кбит/с по одной паре кабеля ГТС с использованием *CAP-N*-модуляции (где  $N = 8, 16, 32, 64, 128$ ) с несимметричной передачей данных и с автоматической регулировкой уровня сигнала передачи.

### **3.2. Общие рекомендации по выбору модемов для цифровых абонентских линий связи**

Все модемы, используемые на телекоммуникационных сетях, по области применения можно подразделить на три группы [5, 9, 10]:



1) магистральные модемы, обеспечивающие обмен данными по 2-4-проводным выделенным каналам ТЧ. Данные модемы в большинстве своём стандартизированы *ITU-T*;

2) узловые (сетевые) модемы, находящиеся в режиме автоответа и соединённые с главным компьютером и терминальным сервером сетевого узла связи. Данные модемы также в большинстве своём стандартизированы *ITU-T*;

3) абонентские модемы, обеспечивающие приём-передачу информации при работе с коммутируемой телефонной сетью связи, стандартизованы в меньшей степени, как правило, имеют свой уникальный линейный протокол, и поэтому должны использоваться в паре на обоих концах АЛС. Такие модемы, как правило, не работают через коммутируемую телефонную сеть.

В плане согласования с оконечным оборудованием модемы для ЦАЛС стандартизованы по типам пользовательских интерфейсов. Чаще всего – это синхронные интерфейсы типа *V 24*, *V 25* или *G.703* и стык типа *E1*.

Разработано и выпускается промышленностью разных стран большое количество разнотипных модемов для ЦАЛС, обеспечивающих реализацию различных пользовательских интерфейсов, т.е. скорость, достоверность, помехозащищённость и способ передачи информации. Разработанные рекомендации по выбору модемов для ЦАЛС сводятся в основном к следующему [1, 5, 9]:

1. Как известно, важнейшими параметрами модемов являются скорость, достоверность и помехозащищённость передачи информации. Максимальная скорость передачи информации, требуемая от модемов, во многом определяется решаемыми задачами и качеством ЦАЛС. В общем, чем выше скорость передачи информации, тем модем лучше, так как за равное время обеспечивается передача большего объёма информации. Однако для практического применения модемов также важны такие параметры, как цена, дизайн и совместимость модема с другой аппаратурой узлов связи, а также надёжность работы, вес и габариты модема.

2. Целесообразно выбирать модемы, которые поддерживают современные протоколы – это протоколы *V 34*, *V 35*, ..., ( $B = 28,8; 33,5$  и  $56$  Кбит/с).

3. Не следует выбирать модемы со скоростью передачи информации  $B < 28,8$  Кбит/с, так как данные модемы сняты с производства, а поэтому будут возникать большие сложности при эксплуатации модемов из-за отсутствия к ним комплектующих изделий.

4. Нецелесообразно использовать модемы, реализующие нестандартные протоколы (протоколы, не сертифицированные Международным Союзом электросвязи), например, такие модемы, как *ZyXEL*, с  $B = 16,8$  и  $19,2$  Кбит/с и др.

5. Кроме перечисленных рекомендаций по выбору модемов к абонентским модемам предъявляются специфические требования, а именно:

- высокие помехоустойчивость и помехозащищённость (эти требования определяются условиями эксплуатации АЛС, а именно, высоким уровнем электромагнитных воздействий от мощных электро- и радиосистем);
- высокая чувствительность приёмника модема;
- надёжное распознавание станционных зуммеров (для автодозвона);
- низкая стоимость и др.

### **3.3. Основные технические характеристики модемов и способы их использования на цифровых абонентских линиях связи**

Большинство (более 70 %) современных модемов для ЦАЛС реализуют технические решения, впервые использованные в технологии *ISDN* (ЦСО). На основе технологии *ISDN* были разработаны модемы, обеспечивающие скорость передачи информации  $B = 128$  Кбит/с. Абонентские линии связи, обеспечивающие цифровую передачу информации со скоростью до 128 Кбит/с, получили название *DSL* (*Digital Subscriber Loop* – цифровые абонентские линии связи (ЦАЛС)).

Скорость и дальность передачи информации модемами, реализованными на основе технологии *DSL*, зависят как от способа линейного кодирования информации, так и от количества и диаметра жил используемых кабелей местной сети (ГТС и СТС – соответственно городских и сельских телефонных сетей). Так, использование в модемах линейного кода 2B1Q позволило организовать дуплексную передачу информации со скоростью  $B = 160$  Кбит/с по одной мед-

ной паре проводов на расстояние 7,5 км без применения регенераторов сигналов. На 15-20 % увеличивается дальность передачи информации модемами, реализующими модуляцию АФМ-64 (САР-64). Технология производства современных модемов – использование БИС и СБИС. Модемы для физических линий (модемы на ограниченную дистанцию – short-range) стандартизированы в меньшей мере, чем для каналов тональной частоты, как правило, имеют свой уникальный линейный протокол, и поэтому должны применяться в паре на обоих концах линии связи. Такие модемы, как правило, не работают через коммутируемую телефонную сеть. С точки зрения стыковки с оконечным оборудованием модемы для физических линий стандартизированы по типам пользователей. Как правило, это синхронные интерфейсы V.24, V.35 или G.703. Большинство модемов для физических линий основаны на технологии xDSL. В табл.3.1 приведены характеристики некоторых модемов для физических линий связи.

Таблица 3.1

Характеристики модемов для физических линий связи

Модем, проводность линии	Скорость (Кбит/с), полный дуплекс	Расстояние, км	
		Ø 0,4 мм	Ø 0,5 мм
<i>Асинхронные</i>			
Зелакс плюс M115-M, 4-проводная	115,2	3,5	4,8
<i>Синхронные</i>			
Taicom/Nateks NTU-128, 2-проводная	128	5,0	7,5
Ascom AM 128000A, 2-проводная	128	4,7	—
RAD ASM-31, 2- х проводная	128	5,4	8,2
Racal COMLINK VI, 4-проводная	128	3,0	—

Типичным модемом российского производства (компания НТЦ НА-ТЕКС), реализующим технологию *DSL*, является модем *NTU-128*. В табл.3.2 приведены допустимые расстояния передачи информации, обеспечиваемые модемом *NTU-128*.

Таблица 3.2

Допустимые расстояния передачи информации модемом *NTU-128*

Диаметр жилы кабеля, мм	Допустимая длина линии, км	
	без регенератора	с регенератором
0,4	5,0	40
0,5	7,0	56
0,6	13,0	104
0,9	22,0	176
1,2	30,0	240

Для организации более высоких скоростей абонентского доступа используются модемы с технологиями *HDSL*, *SDSL*, *ADSL* и *VDSL*.

Модем *NTU-128* поддерживает синхронный дуплексный обмен на скоростях от 48 до 128 Кбит/с на расстояние до 7,5 км без использования регенераторов при диаметре жил 0,5 мм и с пользовательскими интерфейсами *V.24 (RS 232)* и *V.35* или *G.703*. Модем имеет встроенное автоматическое устройство технической диагностики как оборудования модема, так и ЦАЛС. Модемы *NTU-128 SA* позволяют выполнять оценку качества выбираемых пар кабеля ГТС. Установив на обоих концах АЛС модемы *NTU-128*, можно проверить:

- возможность вхождения оборудования в синхронизм,
- коэффициент ошибок и другие параметры.

Модемы *NTU-128 SA* идентичны оборудованию цифровых АЛС по линейному интерфейсу, а поэтому полученные с их помощью данные будут точно оценивать пригодность их для использования в качестве цифровой АЛС. Абонентский полукомплект модема питается от электросети с напряжением 220 В, а стационарный полукомплект модема может подключаться как к электросети с напряжением 220 В, так и к источнику постоянного тока с напряжением 60 В.

Для увеличения дальности передачи информации модемами были разработаны так называемые *интеллектуальные регенераторы*. Использование трёх таких регенераторов позволяет организовать передачу информации на расстояние до 30 км с использованием медных жил кабеля диаметром 0,5 мм. Модемы *NTU-128* способны работать на кабелях связи низкого качества, в том числе составных, с большим количеством отражений.

Модемы для ЦАЛС частот применяют для подключения к сети передачи данных (рис.3.1), для соединения двух локальных вычислительных сетей (ЛВС) (рис.3.2), для одновременной передачи данных и телефонных переговоров (рис.3.3) и для организации цифрового магистрального тракта передачи информации (рис.3.4).

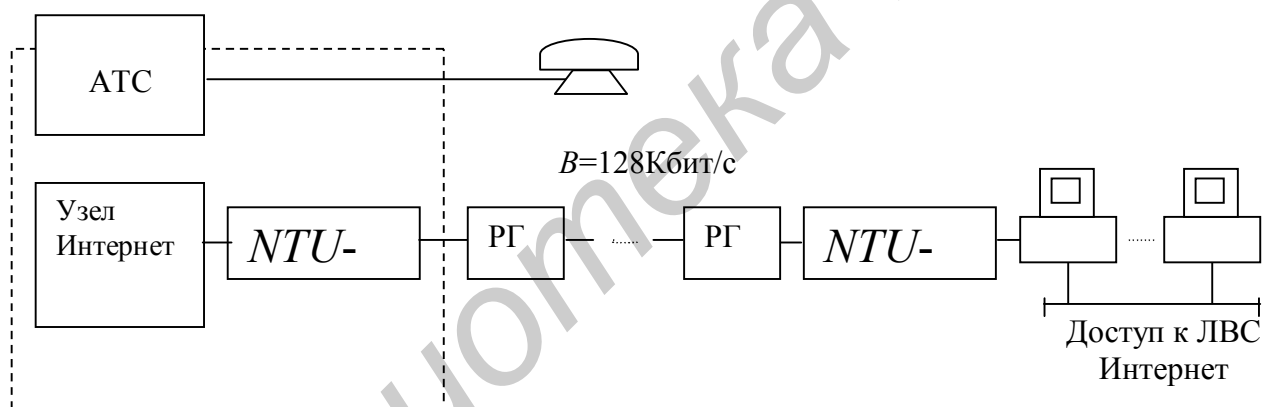


Рис.3.1. Способ использования модемов *NTU-128* и регенераторов (РГ) при подключении к сети передачи данных

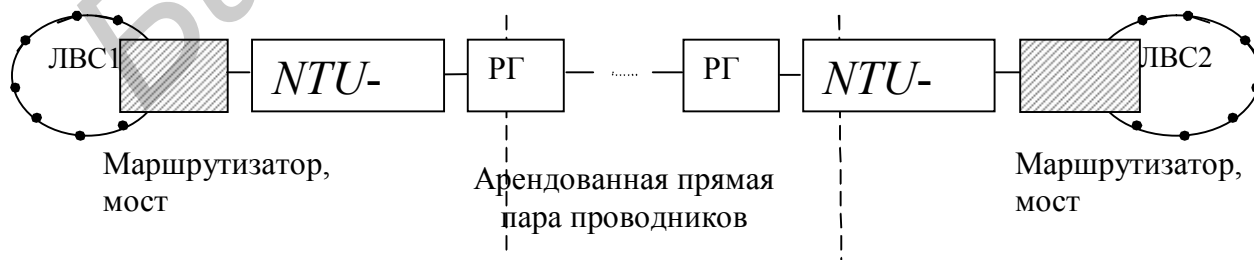


Рис.3.2. Способ использования модемов *NTU-128* для соединения двух ЛВС

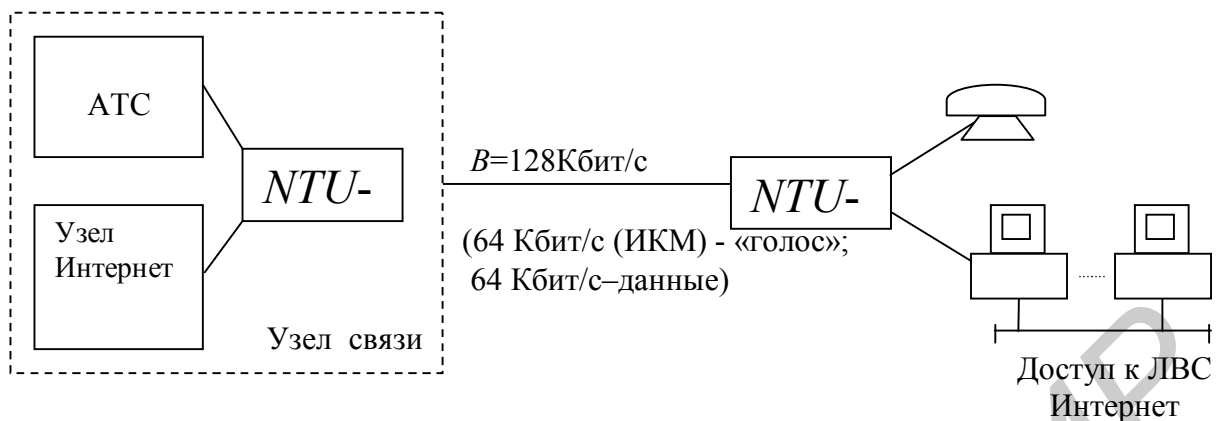


Рис.3.3. Способ использования модемов NTU-128 для одновременной передачи данных и телефонных переговоров («голоса»)

Данный способ (рис. 3.3) организации абонентского доступа широко используется пользователями глобальной ЛВС Интернет. Для реализации данного способа передачи информации возможно использование модемов двух различных технологий.

В модеме первой технологии передача данных осуществляется в высокочастотной области передаваемого спектра, т.е. данные передаются как бы «над голосом», поэтому данный способ передачи информации с использованием соответствующих модемов получил название «Data over Voice» - «Данные над голосом». Преимуществом этой технологии передачи информации является сравнительно простая техническая реализация модемов, а важнейшими недостатками являются: низкая скорость передачи данных ( $B \approx 19,2$  Кбит/с в асинхронном режиме); малая дальность передачи как «голосовой», так и цифровой информации, обусловленная большим затуханием сигнала и простым методом модуляции (АМ); импульсные помехи, которые возникают при наборе номера, а также сигналы абонентской сигнализации, передаваемые по АЛ для нужд телефонной связи.

В модемах второй технологии передача «голоса» и данных осуществляется цифровым способом. В модемах данной технологии (разработанных на основе технологии DSL) цифровой групповой поток ( $B_{gp} = 160$  Кбит/с) разделяется на три

подпотока: первый подпоток ( $B_1 = 64$  Кбит/с) осуществляет передачу данных (реализуется пользовательский интерфейс V.24 или V.35), второй подпоток ( $B_2 = 64$  Кбит/с) осуществляет передачу цифрового телефонного сигнала (используется стандартная ИКМ канала ТЧ) и третий подпоток ( $B_3 = 32$  Кбит/с) используется для передачи сигналов управления удалённым модемом (для выполнения функций централизованного сетевого управления) и сигналов телефонной сигнализации. Преимуществами данной технологии передачи информации являются: высокая скорость передачи данных, синхронный режим передачи, отсутствие сбоев и помех от сигналов сигнализации и практически неограниченная дальность передачи информации при использовании регенераторов сигнала. К недостаткам данной технологии следует отнести достаточно высокую сложность технической реализации модемов и их высокую стоимость.

Модемы «голос + данные» второй технологии позволяют сравнительно легко перейти к реализации технологии *HDSL* (высокоскоростная ( $B = 2048$  Кбит/с) цифровая абонентская линия связи). В этом случае возможны следующие способы организации передачи информации [4, 6, 9, 10].

Первый способ передачи информации предусматривает организацию двух цифровых подпотоков: первый подпоток ( $B_1 = 64$  Кбит/с) используется для передачи ОЦК (основного цифрового канала), второй подпоток ( $B_2 = 1984$  Кбит/с) – для передачи данных. В модемах, реализующих данный способ передачи информации, предусматривается использовать линейный код  $2B1Q$ .

Второй способ передачи информации предусматривает использование модемов *HDSL* с модуляцией (или с технологией) *CAP*. Так как при использовании модуляции *CAP* не задействован частотный диапазон аналогового телефонного канала ( $\Delta F_1 = 0,3 - 3,4$  кГц), то имеется возможность разделить полосу пропускания медной пары проводников кабеля связи или соединительной линии на два частотных поддиапазона, причем высокочастотный поддиапазон ( $\Delta F_2 \geq 40$  кГц) использовать для передачи данных, а низкочастотный поддиапазон ( $\Delta F_1 \leq 20$  кГц) – для передачи аналогового телефонного канала. Устройства, обеспечивающие разделение частотного диапазона, называются разделительными фильтрами.

Модемы *NTU-128* могут эффективно применяться для организации цифровых трактов с помощью существующих (эксплуатируемых) магистральных кабелей связи типа МКСБ, КСПП и др. Обобщённая структурная схема цифрового тракта передачи информации с использованием модемов *NTU-128* и магистрального кабеля связи изображена на рис. 3.4.

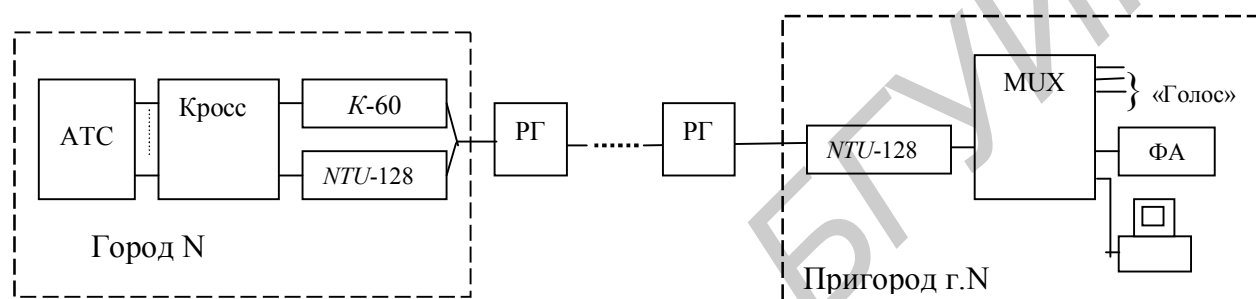


Рис. 3.4. Способ организации цифрового тракта передачи информации с использованием модемов *NTU-128* и магистрального кабеля связи

Пункты усиления сигналов аналоговых систем передачи типа *K-24*, *K-60* на магистральных кабелях связи устанавливаются через 15-25 км (в зависимости от типа аппаратуры и диаметра жил кабеля связи). Модемы *NTU-128* имеют регенерационные участки большей длины (см. табл.3.2), а поэтому одна или несколько пар магистрального кабеля связи может быть использована для организации цифрового тракта с установкой регенераторов сигналов модемов *NTU-128* в существующих НУПах (необслуживаемых усилительных пунктах). Для дистанционного питания регенераторов *NTU-128* применяются блоки питания от оборудования абонентского уплотнения *TOPGAIN-4-NATEKS*. Дистанционное питание подаётся с обеих сторон кабеля связи, обеспечивая электропитание до 4 регенераторов с каждой стороны; при использовании 7 регенераторов с дистанционным питанием с каждой стороны кабеля связи дальность передачи информации составляет 240 км (тип кабеля связи - МКСБ). Если требуется обеспечить более высокую скорость передачи информации с использованием



пар проводов магистрального кабеля связи, то применяют модемы для физических линий, реализующие технологии *HDSL*, *SDSL*, *ADSL* и *VDSL*.

### **3.4. Общие сведения о цифровой аппаратуре уплотнения, реализующей технологию *xDSL***

#### *3.4.1. Общие сведения о принципах построения цифровой аппаратуры уплотнения, используемой на абонентских линиях связи*

Применение одних только модемов *NTU-128* не обеспечивает эффективное использование пропускной способности кабелей ГТС и СТС. Эта проблема успешно решается в настоящее время благодаря использованию соответствующей цифровой аппаратуры абонентского уплотнения. Цифровая аппаратура уплотнения абонентских линий связи может быть построена с использованием различных технологий (принципов линейного кодирования и модуляции сигналов). Наиболее распространёнными в цифровой аппаратуре уплотнения абонентских линий связи являются технологии типа *xDSL*, обеспечивающие скорость передачи информации 160 Кбит/с и более (дуплекс) по одной паре проводов кабелей ГТС и СТС.

Рассмотрим в общем виде принцип построения и варианты (способы) применения цифровой малоканальной (четырёхканальной) аппаратуры уплотнения для абонентских линий связи типа *TOPGAIN-4-NATEKS*.

На рис.3.5 представлены обобщённые структурные схемы соответственно стационарного (а) и абонентского (б) полукомплектов цифровой аппаратуры уплотнения абонентских линий связи *TOPGAIN-4-NATEKS*. В табл.3.3 приведены основные параметры цифровой аппаратуры уплотнения для абонентских линий связи, выпускаемых фирмами России, Австрии, Израиля и Тайваня.

Цифровая аппаратура уплотнения для АЛ *TOPGAIN-4-NATEKS* разрабатывалась на основе разрешения серьёзного компромисса между максимально допустимой скоростью передачи информации (при фиксированной длине АЛС), максимально допустимой длиной (при фиксированной скорости передачи информации), количеством дополнительных каналов и минимальной стои-

мостью аппаратуры. Оптимальное разрешение данного компромисса было достигнуто на основе выбора и реализации сжатия и кодирования аналоговых телефонных сигналов.

Для разрешения компромисса были разработаны методы кодирования речевых сигналов, обеспечивающие меньшую скорость передачи ИКМ-сигналов. Важнейшими и наиболее эффективными методами кодирования, решающими эту проблему, являются АДМ и АДИКМ. Значения параметров квантования в ЦСП ( $D$  – диапазон квантования,  $h$  – шаг квантования,  $O$  – начало отсчёта шкалы квантования,  $T$  – временной интервал между отсчётами) выбираются исходя из свойств преобразуемого сигнала [1, 6, 7].

Библиотека БГУИР

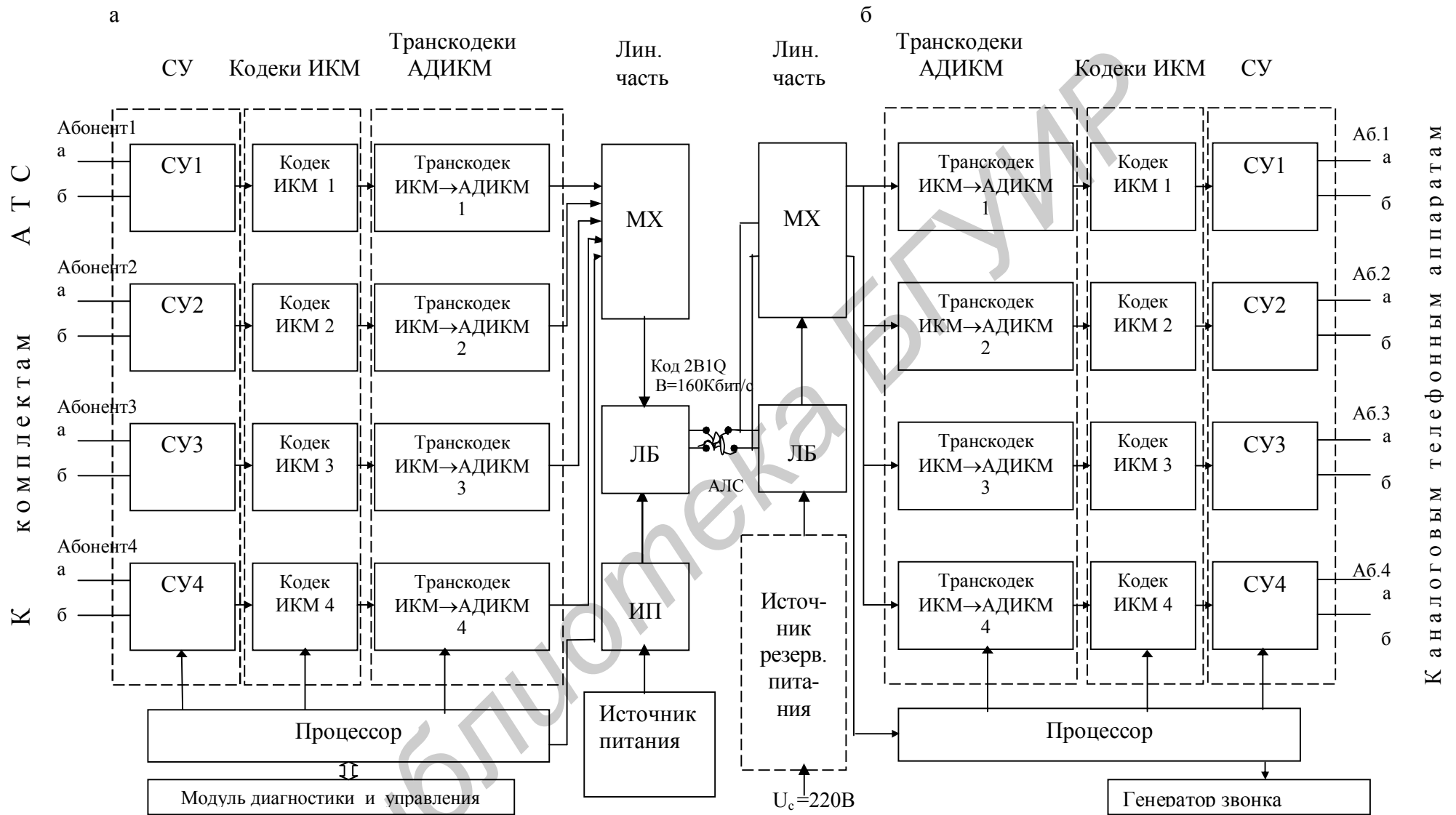


Рис.3.5. Обобщённая структурная схема цифровой аппаратуры уплотнения TOPGAIN-4-NATEKS:  
 а - станционный полукomплект (COT), б - абонентский полукomплект (RT)

Таблица 3.3

Основные параметры малоканальной цифровой аппаратуры уплотнения для абонентских линий связи

Наименование оборудования	<i>TOPGAIN-4-NATEKS</i>	<i>PCM-4</i>	<i>DPGS-4Q</i>	<i>PCK-4</i>
Страна-изготовитель	Россия	Израиль	Тайвань	Австрия
Фирма	ЗАО «НТЦ НАТЕКС»	ECI Telecom	TECOM	Sehrack Telecom
Сертификат соответствия	ОС/1-СП-399	ОС/1-СП-6	ОС/1-К-29	ОС/1-СП-48
Число каналов на АЛС	2, 3, 4, 8, программир.	2, 3, 4	4	4
Напряжение питания станционного полуккомплекта, В	36–72	45–75	36–72	48
Напряжение в линии, В	24/160	160	160	160
Соблюдение специальных требований электробезопасности	Требуется	Требуется	Требуется	Требуется
Максимальное затухание сигнала на частоте 40 кГц, дБ	42	42	40	42
Максимальное сопротивление шлейфа АЛС, Ом	5200	1200	1300	1200
Средства индикации и управления	Светодиоды, ЖК, дисплей, ПЭВМ	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды
Наличие регенераторов	Есть	Нет	Нет	Нет
Электропитание абонентского полуккомплекта	По линии, автономное	По линии	По линии	По линии
Встроенные функции самодиагностики	Есть	Нет	Нет	Нет
Гарантийный срок, лет	1	1	1	1
Уплотнение прямых проводов	Есть	Нет	Нет	Нет
Четырёхпроводное окончание	Есть	нет	нет	нет

Диапазон  $D$  определяется динамическим диапазоном входного сигнала, шаг  $h$  – изменением величины отсчётов (их законом распределения), уровень  $O$  – средним значением сигнала, интервал  $T$  – скоростью изменения сигнала во времени с учётом спектральных свойств сигнала. Если аппаратуру уплотнения рассчитывать на передачу сигналов на максимальное расстояние (для АЛС это порядка 15 км) и с максимальной скоростью ( $B = 64$  Кбит/с), то величины  $D$  и  $O$  необходимо выбирать исходя из максимальной дисперсии сигнала и разброса по-

стоянной составляющей кодируемого речевого сигнала; параметр  $h$  выбирается наименьшим, а параметр  $T$  – исходя из допустимой ширины спектра сигнала. Выполнение данных требований будет обеспечивать высокую точность восстановления аналогового сигнала на приёмной стороне. Если перечисленные выше параметры проектируемой аппаратуры уплотнения выбрать минимальными по значению (величине), то это позволит упростить реализацию аппаратуры, но приведёт к снижению точности восстановления аналогового сигнала на приёме.

Цифровая аппаратура уплотнения для АЛС *TOPGAIN-4-NATEKS* разработана на основе выполнения вышеприведённых требований. Она обеспечивает независимую работу от 2 до 4 оцифрованных телефонных каналов по одной медной паре проводников кабелей ГТС и СТС. При организации двух оцифрованных телефонных каналов используется скорость передачи стандартной ИКМ, т.е.  $B_1 = B_2 = 64$  Кбит/с, а при организации четырёх оцифрованных телефонных каналов выбраны скорости передачи  $B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 32$  Кбит/с.

Аппаратура *TOPGAIN-4* имеет модульный принцип построения (см. рис.3.5). Аналоговые речевые сигналы от четырёх телефонных аппаратов через устройства согласования (СУ) поступают на входы кодеков ИКМ, реализующих алгоритм кодирования *ИКМ* со скоростью передачи  $B = 64$  Кбит/с. Если используются только два телефонных аппарата, то транскодеки *ИМК*→*АДИКМ* могут блокироваться (см. пунктир), и тогда на вход АЛС поступит групповой поток со скоростью  $B_{гр} = (2 \cdot B + D) = (2 \cdot 64 + 32) = 160$  Кбит/с. Таким образом, аппаратура *TOPGAIN-4* организует уплотнение АЛС до четырёх телефонных каналов.

При использовании транскодеков *ИМК*→*АДИКМ* ИКМ сигнал каждого телефонного канала сжимается (уменьшается) до скорости  $B = 32$  Кбит/с; для сжатия ИКМ сигнала используется *АДИКМ*. После транскодирования цифровые потоки объединяются мультиплексором (МХ) в единый цифровой поток. Мультиплексор реализует так называемый *U-интерфейс*.

*U-интерфейс* наиболее широко используется в цифровых сетях интегрального обслуживания (ISDN). Данный интерфейс реализует подключение и приём-передачу по одной медной паре проводников кабеля связи ГТС двух оцифрован-

ных телефонных каналов со скоростью передачи  $B = 64$  Кбит/с, канала синхронизации «D» со скоростью передачи  $B = 16$  Кбит/с и одного канала служебной связи со скоростью передачи  $B = 16$  Кбит/с. Таким образом, реализуется интерфейс  $(2 \cdot B + D + 16)$ .

Линейная часть мультиплексора осуществляет преобразование ИКМ-сигнала в линейный сигнал с использованием кода  $2B1Q$ , эхокомпенсацию (эхоподавление), а также ввод и вывод сигналов самодиагностики аппаратуры уплотнения и диагностики АЛС, передачу в линию дистанционного питания, защитное отключение источника дистанционного питания в случае обрыва или замыкания цепей дистанционного питания, а также обеспечивает грозозащиту обслуживающего персонала и блоков аппаратуры. Функционирование полуккомплектов цифровой аппаратуры уплотнения *TOPGAIN-4* осуществляется под управлением соответствующего микропроцессора и микропрограммы.

### 3.4.2. Варианты использования аппаратуры уплотнения *TOPGAIN-4* на местных сетях связи

Варианты или способы использования аппаратуры уплотнения *TOPGAIN-4* на местных сетях связи постоянно совершенствуются, однако можно выделить из них следующие основные варианты.

*Первый вариант* – «прямое» включение абонентов, имеющих аналоговые телефонные аппараты. Обобщённая структурная схема местной сети, реализующая данный вариант, имеет следующее построение:



Рис. 3.6. Способ «прямого» включения абонентов с использованием *TOPGAIN-4* (*RT* – абонентский полуккомплект, *COT* – станционный полуккомплект)

Основные функции абонентского полуккомплекта:

- преобразует аналоговые речевые сигналы в цифровые и обратно;
- восстанавливает вызывной сигнал;
- определяет состояние «поднята-опущена» трубки телефонного аппарата;
- распознаёт импульсы набора номера и т.д.

Основными функциями станционного полуккомплекта являются:

- преобразует цифровой сигнал в аналоговый и обратно;
- определяет вызывной сигнал;
- эмулирует состояние «поднята-опущена» трубки телефонного аппарата;
- «набирает» телефонный номер абонента и т.д.

*Второй вариант* – «прямое» соединение учрежденческих (малых) АТС (УАТС). Обобщённая структурная схема тракта передачи информации, реализующая данный вариант, имеет следующее построение (рис.3.7)



Рис.3.7. Способ соединения УАТС с использованием цифровой аппаратуры уплотнения *TOPGAIN-4*

Данный вариант использования цифровой аппаратуры уплотнения *TOPGAIN-4* чаще всего используется в корпоративных сетях для соединения удалённых офисов. Преимуществами такого варианта являются использование единого плана нумерации соединяемых УАТС, а также отсутствие затухания в соединительной линии, обеспечиваемое за счёт регулирования уровней сигналов. При использовании двухпроводного интерфейса исключить затухание сигналов невозможно из-за опасности возникновения самовозбуждения аппаратуры.

Третий вариант – использование в качестве окончных устройств абонентских полукомплектов различных средств вычислительной техники и аппаратов факсимильной связи. Обобщённая структурная схема сети, реализующая данный вариант, представлена на рис.3.8.

Абонентские интерфейсы цифровой аппаратуры уплотнения *TOPGAIN-4* обеспечивают подключение к абонентским полукомплексам (*RT*) подавляющего большинства применяемых в СНГ сертифицированных окончных устройств. Телефонные аппараты электронных и электромеханических систем, модемы, факсимильные аппараты (ФА) могут подключаться к *TOPGAIN-4* без ограничений. Для подключения таксофонов (ТС) предусмотрена поставка специальных версий, поддерживающих изменение полярности и метрические сигналы 12/16 кГц. Так как некоторые типы карточных таксофонов требуют специфических параметров абонентского интерфейса, то при заказе аппаратуры *TOPGAIN-4* желательно указывать тип используемых таксофонов.

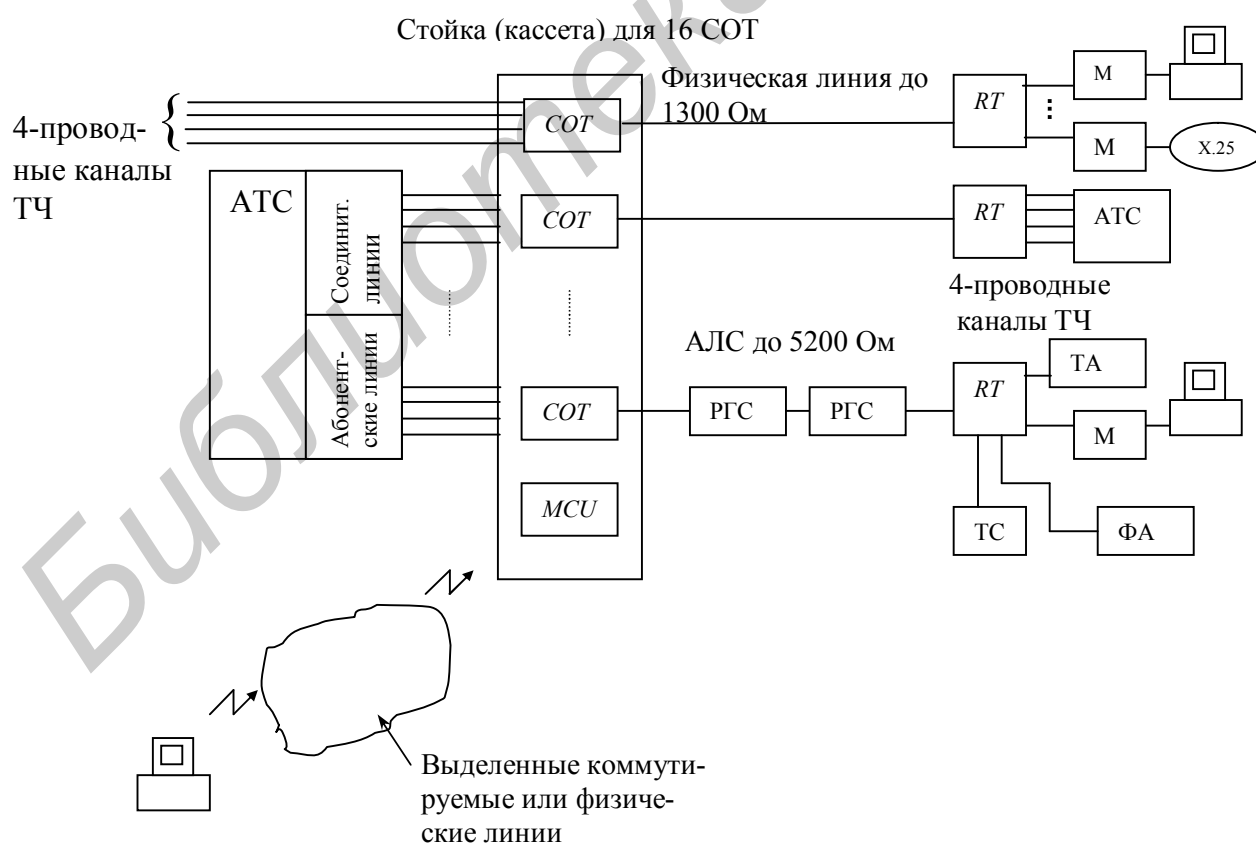


Рис.3.8. Структурная схема многофункциональной телефонной сети с использованием аппаратуры уплотнения *TOPGAIN-4*



Станционный интерфейс аппаратуры уплотнения позволяет использовать любой тип АТС, но некоторые типы АТС имеют особенности в реализации абонентских интерфейсов. Так, например, для работы с квазиэлектронной АТС «Квант» требуется разработка специальной версии *TOPGAIN-4*, которая будет отличаться схемотехническим решением входных цепей полукомплекта *COT*.

Линейный интерфейс аппаратуры уплотнения разработан таким образом, что на подавляющем большинстве АЛС (с сопротивлением шлейфа до 1300 Ом) полукомплекты *RT* и *COT* взаимодействуют без применения линейных регенераторов. Если же длина АЛС превышает допустимое значение, то линейный интерфейс предусматривает включение регенераторов; каждый регенератор обеспечивает увеличение максимальной дальности работы аппаратуры на 95-100 %. Регенераторы должны размещаться в помещениях кроссов и распределительных шкафов.

Электропитание к регенераторам подается дистанционно по АЛС. Если предусматривается установка двух регенераторов на АЛС, то дистанционное питание обеспечивает полукомплект *COT*, а полукомплект *RT* имеет локальное электропитание. Сопротивление участков АЛС в этом случае должно быть равным 1230 Ом (рис.3.9).

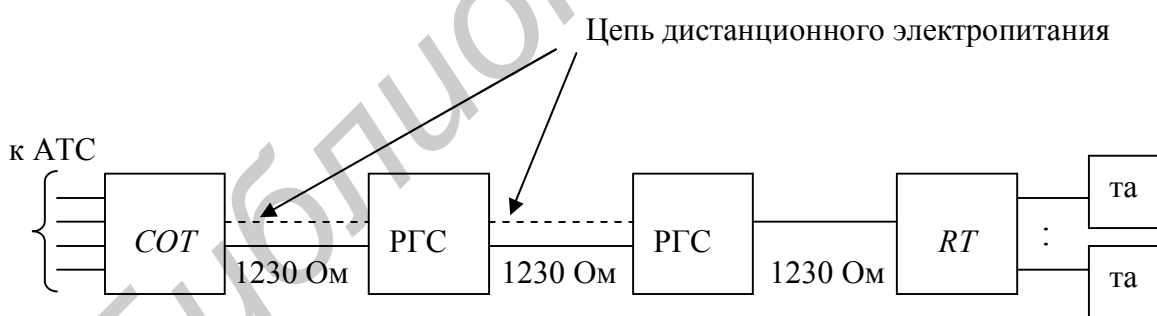


Рис.3.9. Схема включения двух регенераторов и способ подачи дистанционного питания

Если обеспечивается подача локального электропитания напряжением 60 В постоянного тока или 220 В переменного тока, то количество РГС на трассе может быть практически не ограничено.

Цифровая аппаратура *TOPGAIN-4* позволяет быстро и качественно выполнить настройку РГС. Для этого в ней имеются соответствующий процессор и расширенная светодиодная индикация, включая светодиод «качество сигнала» (светодиод SQ). Настройка РГС осуществляется следующим способом: в случае, когда длина уплотняемой АЛС близка к предельным значениям, то производятся подборка проводов кабеля с лучшими параметрами и оценка их качества по показаниям светодиода SQ. Если параметры пары проводников находятся в пределах нормы, то светодиод SQ не загорается; если же светодиод начинает вспыхивать, то чем чаще это происходит, тем хуже качество АЛС. Так как параметры АЛС со временем ухудшаются, то рекомендуется устанавливать РГС на более близкое расстояние друг от друга, даже если качество работы аппаратуры «на слух» соответствует оценке «хорошо».

Цифровая аппаратура уплотнения *TOPGAIN-4* и ей подобная может использоваться также для организации технологической, диспетчерской и других видов служб связи. *TOPGAIN-4* не требует постоянного присутствия технического персонала и проведения ежедневных регламентных работ. В аппаратуре имеются процессор самодиагностики и блок аварийной сигнализации, обеспечивающих вывод необходимой информации в центр технической эксплуатации. Выдача (передача) телеинформации в центр технической эксплуатации осуществляется с использованием соответствующих модемов с интерфейсом RS-485 (четырехпроводная физическая линия связи) или с интерфейсом RS-232 (двухпроводная физическая линия связи).

Аналогичные функции выполняют цифровые аппаратуры уплотнения *PCM-4*, *WATSON-N* и др.

### **3.5. Основные характеристики и варианты использования цифровой аппаратуры уплотнения, реализующей технологию *HDSL***

#### *3.5.1. Преимущества и недостатки технологии HDSL*

Как отмечалось выше (раздел 3.1.), технология *HDSL* определяет способы организации высокоскоростной абонентской линии связи. Скорость передачи

информации 2048 Кбит/с с использованием двух или трех цепей (проводников) кабелей связи типа ТПП (городские сети связи), КСПП и ЗКП (магистральные сети связи). Режим передачи информации – дуплексный.

Основу аппаратуры уплотнения, реализующей технологию *HDSL*, составляет дискретный канал связи, т.е. кодек канала и модем. Технология *HDSL* предусматривает использование двух технологий линейного кодирования, а именно, *2B1Q* и *CAP-N*, которые основаны на цифровой обработке передаваемого и принимаемого сигналов, для чего в аппаратуре используется сигнальный процессор. Прием и передача информации ведутся в одном частотном диапазоне; разделение сигнала осуществляется аппаратно-программным способом. Предусматривается реализация адаптивной эхокомпенсации по принципу – приемник модема как бы вычитает из линейного сигнала сигнал собственного передатчика и его эхо (сигнал, отраженный от дальнего конца кабеля или места сочленения составного кабеля). Применение эхокомпенсации и снижение частоты линейного сигнала обеспечивают возможность осуществлять передачу в обоих направлениях не только по одной паре проводников, но и в одном кабеле связи, что также является очень важным преимуществом технологии *HDSL* перед технологиями применения линейных кодов *HDB-3* и *AMI*.

Характеристики аппаратуры уплотнения АЛС и СЛ, использующих технологию *HDSL*, автоматически адаптируются под параметры пар проводников кабелей связи, что исключает необходимость каких-либо ручных регулировок и настроек при первоначальной установке аппаратуры или её переносе с одного участка сети на другой.

### *3.5.2. Аппаратура уплотнения для абонентских и соединительных линий на основе технологии HDSL: основные характеристики*

В настоящее время многие страны выпускают аппаратуру уплотнения для абонентских и соединительных линий связи, реализующих технологию *HDSL*. Критерием качества выполнения аппаратуры технологии *HDSL* является максимально обеспечиваемая дальность передачи информации по физической

двухпроводной АЛС. Данный критерий практически на 100 % обеспечивается используемым линейным кодированием и модуляцией входной двоичной последовательности. Широкое использование на сетях телекоммуникаций аппаратуры уплотнения, реализующей технологию *HDSL*, обеспечивается большими функциональными возможностями данной аппаратуры, которая может применяться для [1, 5, 8, 9, 10]:

- межстанционных связей между цифровыми АТС или совместно с мультиплексорами типа *ИКМ-30* с аналоговыми АТС;
- организации абонентского выноса (до 60 номеров на один *HDSL*- тракт);
- организации доступа к *PDH*- или *SDH*-сети, а также к ЛВС;
- организации связи между центрами коммутации и базовыми станциями сотовых сетей связи и т.д.

На телекоммуникационных сетях широко используется аппаратура уплотнения *WATSON*, реализующая технологию *HDSL* совместного производства фирмы Schmid Telecom AG (Швейцария) и ЗАО научно-технического центра *НАТЕКС* (Россия).

Аппаратура *WATSON* является практическим аналогом аппаратуры *ИКМ-30*. На сетях связи применяется несколько типов аппаратуры *WATSON*, а именно: *WATSON2* – использует линейное кодирование *2B1Q* и работает по двум парам кабеля связи; *WATSON3* – использует линейный сигнал (модуляцию) *SAP-64* и работает по двум парам кабеля связи. Аппаратура *WATSON2* и *WATSON3* обеспечивает следующие функциональные возможности [7, 9]:

1. Передачу информации по двум парам АЛС со скоростью по интерфейсу пользователя 2 Мбит/с и с линейной скоростью 1168 Мбит/с по каждой из пар.
2. Передачу информации со скоростью 1 Мбит/с по одной паре проводников.
3. Передачу информации на любой скорости, кратной 64 Кбит/с ( $N \cdot 64$  Кбит/с), вплоть до 2 Мбит/с (для интерфейсов *V.35*, *V.36*, *X.21*).
4. Передачу информации в прозрачном режиме или в режиме с разбивкой по кадрам (*G.703*, *G.704*, *ISDN PRA*).

5. Независимую работу двух трактов передачи информации на скорости не более 1 Мбит/с каждый.

6. Резервирование по одной паре (в случае обрыва одной из пар по другой передаются сигналы 15 информационных временных каналов, а также 0-го и 16-го, используемых обычно для сигнализации и управления).

7. Полное резервирование 1+1 (две пары систем *HDSL* устанавливаются вместе и одна из них работает в «горячем» резерве, в случае выхода из строя одного тракта вторая система обеспечивает передачу цифрового потока со скоростью 2 Мбит/с).

8. Локальное или дистанционное (по линии) питание оборудования системы уплотнения или регенераторов.

9. Локальное (по интерфейсу *RS-232*) или дистанционное (по вторичному каналу, одновременно с передачей цифрового потока со скоростью 2 Мбит/с) конфигурирование и централизованное сетевое управление.

Наибольшее число современных достижений в технологии линейного кодирования применено в системах с технологией *SDSL*, которая реализована в системе уплотнения АЛС *WATSON4*. Данная аппаратура обеспечивает симметричную дуплексную передачу по одной паре проводов телефонного кабеля цифрового потока со скоростью 2 Мбит/с. Для передачи информации по линиям связи используется модуляция *CAP-128*, обеспечивающая удельную скорость передачи 7 бит/Гц, с<sup>-1</sup>.

В табл. 3.4 приведены расстояния передачи информации, обеспечиваемой аппаратурой *ИКМ-30* и *WATSON1 – WATSON4*, при уровне шумов, соответствующих нормам стандарта *ETSI*.

Таблица 3.4

## Ориентировочные расстояния передачи информации аппаратурой уплотнения АЛС и СЛ

Диаметр жилы кабеля, мм	Дальность передачи, км, для аппаратуры типа			
	<i>ИКМ-30</i> ( <i>HDB-3</i> ) 2 пары	<i>WATSON1</i> , <i>WATSON3</i> ( <i>CAP-64</i> ) 2 пары	без регенераторов	
			<i>WATSON2</i> ( <i>2B1Q</i> ) 2 пары	<i>WATSON4</i> ( <i>CAP-128</i> ) 1 пара
0,4	1,2	4–5	3,7	3,1
0,5	1,5	5–6	4,5	3,9
0,6	2,0	6–8	5,4	4,8
1,2	4,0	16–22	14	8,0

Применение в аппаратуре *WATSON* линейных сигналов типа *2B1Q* и *CAP-N* ( $N = 64; 128$ ) позволило увеличить длину регенерационного участка более чем в четыре раза по сравнению с длиной регенерационного участка, обеспечиваемого аппаратурой *ИКМ-30* с линейным сигналом *HDB-3*. Увеличение дальности связи обеспечивается за счёт того, что в спектрах линейных сигналов *2B1Q* и *CAP-N* имеются более низкочастотные составляющие, чем в спектре линейного сигнала *HDB-3*.

При установке аппаратуры на линию связи целесообразно использовать два модема аппаратуры *WATSON* для контроля (измерения) параметров цепей (пар) кабеля связи – это обеспечит экономию финансовых средств, так как специальная измерительная аппаратура для этих целей стоит очень дорого. Установка одного модема аппаратуры *WATSON* на передающей стороне, а другого модема – на приёмной стороне позволяет выполнить полный цикл диагностики АЛС в соответствии с Рекомендацией *ITU-TG.826*. Согласно данной рекомендации должны измеряться следующие параметры АЛС:

- 1) количество ошибочных блоков информации на локальном конце *HDSL* тракта на основе использования циклического кода;
- 2) то же – на удалённом конце *HDSL*-тракта;
- 3) количество блоков информации, содержащее один или более ошибочных бит;

- 4) количество периодов времени длительностью 1 с, в которых зарегистрирована одна или более ошибок;
- 5) количество периодов времени длительностью 1 с, в которых зарегистрировано более 30 % ошибочных блоков информации;
- 6) количество ошибочных информационных блоков, не учтённых в п.5;
- 7) отношение количества секунд с ошибками к количеству секунд без ошибок за некоторое фиксированное время измерений;
- 8) отношение количества информационных блоков с ошибками к общему количеству переданных блоков за определённое время, за исключением информационных блоков, определённых как в п.5 (*SES*), и времени неработоспособности аппаратуры уплотнения.

Аппаратура уплотнения АЛС *WATSON* обеспечивает использование (реализацию) различных пользовательских интерфейсов. На стороне линии модем *HDSL* может иметь интерфейс либо с кодом *2B1Q*, либо с сигналом *CAP* (АФМ). На стороне пользователя, т.е. на стороне модема *HDSL*, подключаемого к устройствам пользователя, интерфейс является стандартным, полностью отвечающим международным требованиям для достижения совместимости с пользовательским оборудованием. Наиболее широко применяемым в телефонии является интерфейс *E1* со скоростью передачи 2 Мбит/с, регламентируемый Рекомендацией *ITU-T G.703*. Интерфейс *E1* может предусматривать различные варианты деления на кадры (фреймы), в частности, в соответствии с Рекомендацией *G.704* или *ISDN PRA(NTI)*.

Для применения оборудования в сетях передачи данных, а также в сетях мобильной связи важным является наличие интерфейсов, позволяющих программным способом изменять скорость передачи информации под параметры интерфейса пользователя от 64 Кбит/с до 2048 Кбит/с с шагом 64 Кбит/с, при этом в технологии *HDSL* линейная скорость передачи остаётся неизменной. Таких интерфейсов несколько, например *V.35*, *V.36*, *X.21*. Наиболее часто используется интерфейс *V.35*, а наличие других интерфейсов важно при разнообразии типов пользовательского оборудования. Некоторые системы уплотнения позво-

ляют установить два цифровых интерфейса, каждый из которых работает со скоростью  $N \cdot 64$  Кбит/с, при этом суммарная скорость по двум интерфейсам не превышает 2048 Кбит/с. Благодаря наличию такой функции можно организовать два независимых цифровых канала по одному тракту *HDSL*. Для связи локальных сетей или для выхода в сеть Интернет применяется *Ethernet* интерфейс, как правило, *10BaseT*.

Аппаратура уплотнения *WATSON* технологии *HDSL* предусматривает резервирование как самой аппаратуры, так и тракта *E1*. В случае необходимости обеспечить полное резервирование тракта *E1* применяется защита типа 1+1. Две пары модемов *HDSL* включаются в этом случае параллельно, желательно с использованием пар (цепей) из разных кабелей связи. В случае выхода из строя одного из трактов (по причине выхода из строя кабельной пары или самой системы *HDSL*) передача осуществляется по второму тракту, обеспечивая 100%-е горячее резервирование. Второй способ защиты, называемый *partial mode* позволяет сохранить частичную работу тракта *E1* при обрыве одной из пар. В аппаратуре уплотнения с технологией *HDSL*, обеспечивающей такой способ защиты, по обеим парам проводников кабеля(ей) связи дублируется передача временных интервалов *TS0* и *TS16*; временные интервалы *TS1—TS15* и *TS17—TS31* назначаются на ту или иную кабельную пару. При обрыве одной пары временные интервалы, запрограммированные как «приоритетные», передаются по оставшейся в работе паре, а вторая половина временных интервалов теряется. Благодаря тому, что *TS0* и *TS16* дублируются по обеим парам, сохраняется работоспособность окончного оборудования, например мультиплексоров или телефонных станций, соответственно с потерей половины каналов.

Аппаратура уплотнения АЛС *WATSON* с технологией *HDSL* не требует постоянного присутствия технического персонала, обеспечивающего технический контроль и диагностику как аппаратуры, так и линии связи. Эту функцию персонала выполняет компьютер, эмулирующий работу алфавитно-цифрового терминала типа *VT100*.



Для уплотнения магистральных линий связи была разработана цифровая аппаратура уплотнения *WATSON 4 MEGATRANS*, которая обеспечивает длину регенерационного участка  $\ell_{рег}$ , равную длине  $\ell_{рег}$ , обеспечиваемую существующими аналоговыми системами.

Как известно [1, 5, 7, 9, 10], решение проблемы достижения заданной длины  $\ell_{рег} = 24$  км сводится к выбору числа пар кабеля связи, типа линейного кода, уровня передачи, а также к согласованию выходных каскадов с линией связи.

В аппаратуре уплотнения *WATSON 4 MEGATRANS* применена уникальная технология, отличающаяся несимметричностью передачи информации ( $B_1 = 1552$  Кбит/с,  $B_2 = 523$  Кбит/с), *QAM*-модуляцией, регулируемым уровнем и адаптивной системой согласования с линией.

*Несимметричность передачи информации* позволяет достаточно легко решить задачу эхокомпенсации. Так как обычно «ближнее» эхо всегда намного превышает принимаемый сигнал, то это решение позволяет восстановить принимаемый сигнал, как сигнал, претерпевший большее затухание. Существующая область значений коэффициента асимметрии позволяет достичь максимального значения  $\ell_{рег}$ .

Несимметричная передача информации позволяет также решить проблему совместимости с существующими аналоговыми системами. Сигнал, который передаётся с более низкой скоростью, и передаётся с более низким уровнем и в более узкой полосе частот. Поэтому влияние сигнала аналоговой системы уплотнения на сигнал низкого уровня *WATSON4* не приводит к появлению ошибок.

В аппаратуре *WATSON4* для коррекции искажений цифрового сигнала, возникающих в результате прохождения сигнала через несколько регенерационных участков, используется уникальный алгоритм коррекции параметров цифрового сигнала.

Однако к недостатку аппаратуры *WATSON4* следует отнести то, что её нельзя «автоматически» устанавливать на линиях связи. Для установки данной

аппаратуры требуется проведение предпроектных исследований, «шеф»-монтажа и обучение обслуживающего персонала.

### 3.5.3. Варианты использования аппаратуры уплотнения WATSON 4 на местных сетях связи

Аппаратура уплотнения АЛС типа WATSON, реализующая технологию HDSL Schmid, имеет ряд преимуществ перед другими технологиями организации цифровых трактов передачи информации. Так, например, в отличие от использования ВОЛС, КК или радиолиний аппаратура уплотнения WATSON может быть установлена за считанные часы и имеет более низкую стоимость. Автономно или совместно с другим телекоммуникационным оборудованием HDSL аппаратура уплотнения WATSON может использоваться для организации:

- 1) межстанционных связей между цифровыми АТС:

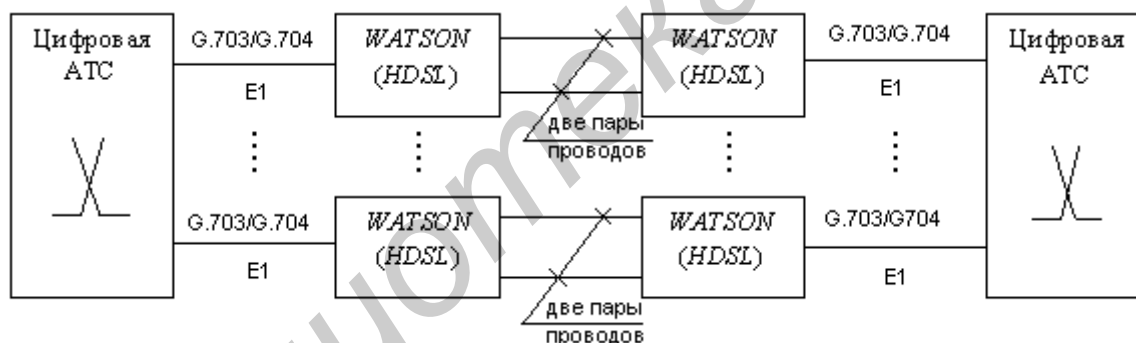


Рис. 3.10. Способ организации межстанционных связей между цифровыми АТС

- 2) межстанционных связей между аналоговой и цифровой АТС. В этом случае на стороне аналоговой АТС необходимо использование мультиплексора аппаратуры ИКМ-30 либо типа WATSON:

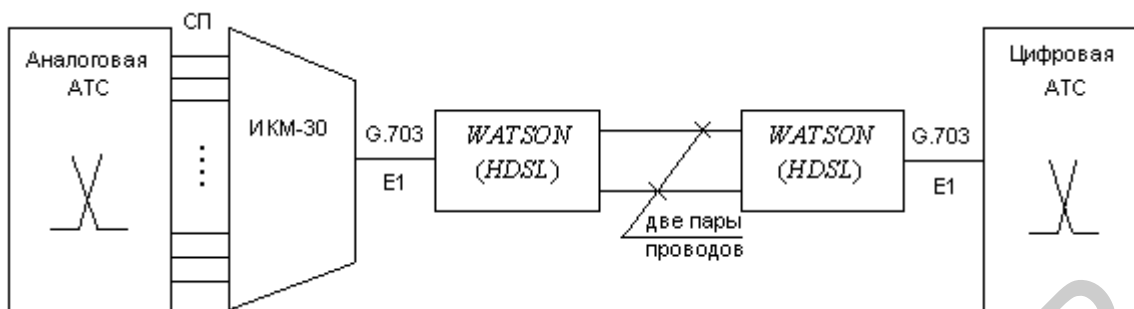


Рис. 3.11. Способ организации межстанционных связей между аналоговой и цифровой АТС

3) уплотнения АЛС и организации абонентского выноса; совместно с мультиплексорами временного разделения:

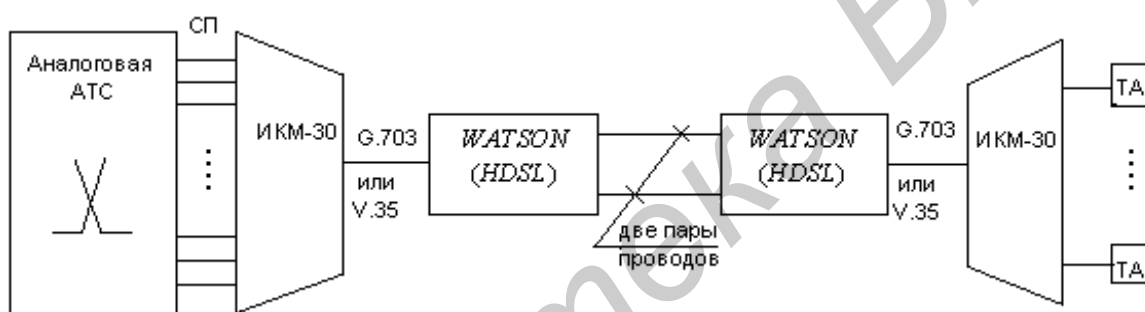


Рис.3.12. Способ организации абонентского выноса

4) доступа к высокоскоростным оптоволоконным трактам с протоколами передачи данных SDH или PDH:

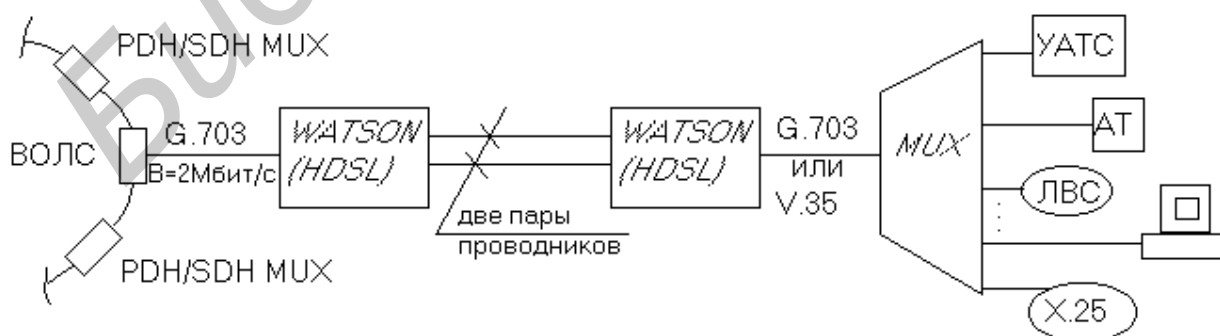


Рис.3.13. Способ организации к высокоскоростным сетям связи и передачи данных (доступ к сети SDH)

## 5) объединения локальных вычислительных сетей ЛВС



Рис.3.14. Способ объединения двух ЛВС в единую ЛВС

Кроме того, аппаратура уплотнения, реализующая технологию *HDSL*, может использоваться для организации доступа абонентов к сетям *ISDN*, сотовым радиотелефонным сетям и т.д.

### 3.6. Способы повышения пропускной способности цифровых магистральных трактов передачи информации

Для современных систем телекоммуникаций актуальной является задача повышение в два и более раз пропускной способности существующих цифровых магистральных трактов передачи информации, обеспечивающих передачу многоканальных ( $N \geq 60$  каналов) телефонных сигналов. Данная задача решается путем применения различных способов сжатия *ИКМ* телефонных каналов. В этом случае обеспечивается передача удвоенных и более объемов информации при минимальных дополнительных финансовых затратах.

Возможность сжатия телефонных сообщений обусловлена следующими факторами [2,4,10]:

- высокой избыточностью речевого сигнала;
- наличием пауз в обычном разговоре, которые составляют в среднем 50-60 % времени сеанса связи;
- низкой интенсивностью занятия телефонного канала, которая не превышает 0,8 Эрл даже в ЧНН.

За рубежом наиболее широко распространены системы типа *ТАСИ* (*TASI*), в которых сжатие достигается за счет удаления пауз из телефонного разговора. Коэффициент сжатия составляет порядка 1,5-1,6. Такие системы были реализованы еще в 60-х годах прошлого века на трансатлантических кабельных линиях связи.

В настоящее время в аппаратуре уплотнения для сжатия цифровых телефонных сообщений используются системы *статистического сжатия*, именуемые *транскодеками*, которые реализуют динамическое (временное) перераспределение информационных символов между сигналами *парциальных каналов*. Парциальный канал соответствует частотному диапазону  $\Delta F_{нар.к} = \frac{\Delta F}{N}$ , где  $\Delta F$  - используемый частотный диапазон,  $N$ - количество цифровых каналов (кодексов индивидуальных каналов системы уплотнения).

Одной из современных систем связи данного типа является аппаратура *CELTIC- 3G* французской фирмы *ALCATEL*. В этой аппаратуре предусмотрена возможность работы как в европейском, так и в американском стандартах ЦСП с сигналами *ИКМ* и *АДИКМ*. Кроме того, при перегрузках каналов связи аппаратура реализует *АДИКМ* с меньшей разрядностью кодового слова, что обеспечивает дополнительное сжатие информации.

На основе статического сжатия сигнала *ИКМ* была разработана и реализована аппаратура уплотнения «Объединение-Ц», которая используется для передачи цифровых речевых сигналов по ССС и РРЛ. Для сжатия сигнала *ИКМ* используется *транскодек*, который преобразует два цифровых потока *ИКМ-30* ( $B_1 = B_2 = 2048$  Кбит/с) в один цифровой поток со скоростью  $B = 2048$  Кбит/с. Обобщенная структурная схема тракта передачи информации с использованием транскодека имеет следующий вид:

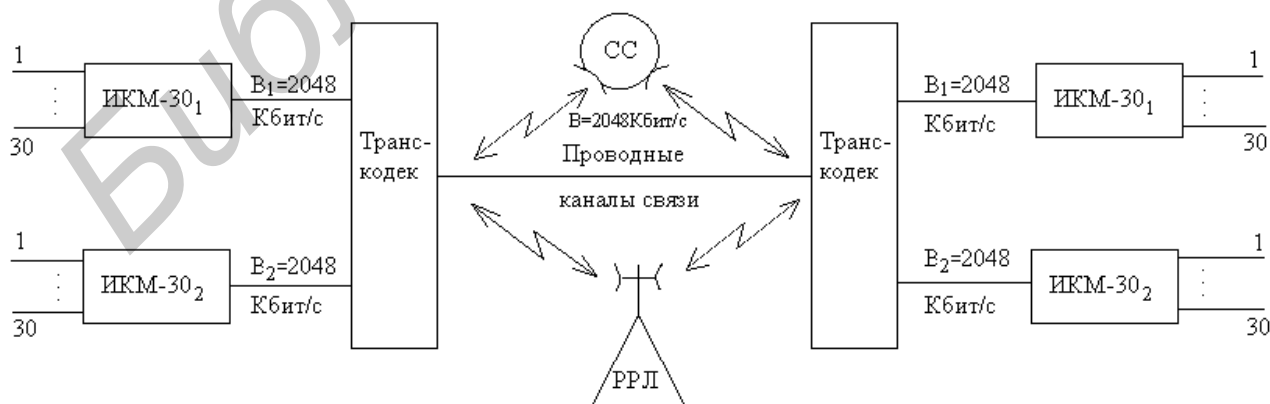


Рис.3.15. Обобщенная структурная схема тракта передачи информации с использованием транскодека

Обобщенная структурная схема статистического транскодека имеет следующий вид:

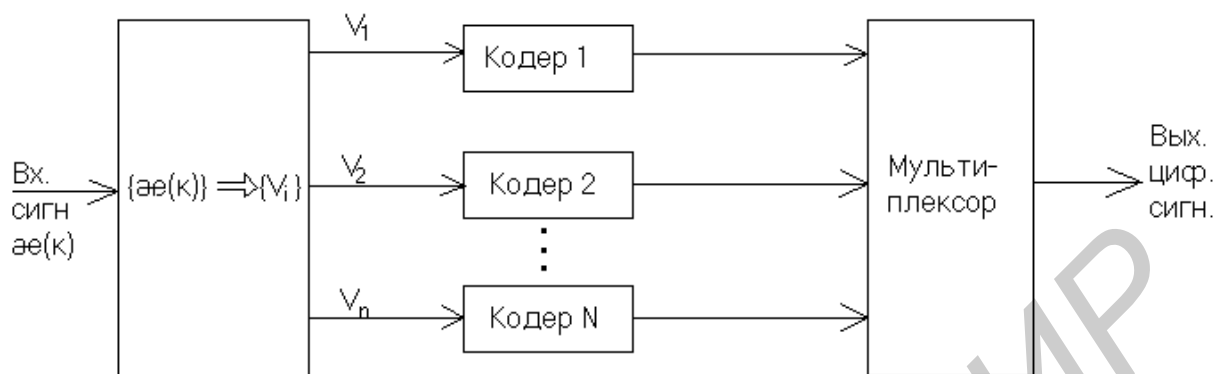


Рис.3.16. Обобщенная структурная схема статистического транскодека

При трансформном кодировании квантуются и кодируются коэффициенты разложения сигнала  $\hat{x}(k)$ , полученные, например, в результате преобразования Фурье. С помощью функционального преобразования на передающей стороне осуществляется анализ речевого сигнала, а затем в парциальных частотных полосах происходит адаптивное квантование выделенных коэффициентов разложения речевого сигнала. Коэффициенты предсказания определяются на основе оценок кратковременных спектральных плотностей мощности сигналов; такая процедура реализуется в каждом из  $N$  кодеров. Затем выходные цифровые потоки поступают в схему объединения, где формируется «сжатый» цифровой поток.

Структура цикла цифрового сигнала транскодека системы «Объединение-Ц» имеет следующий вид:

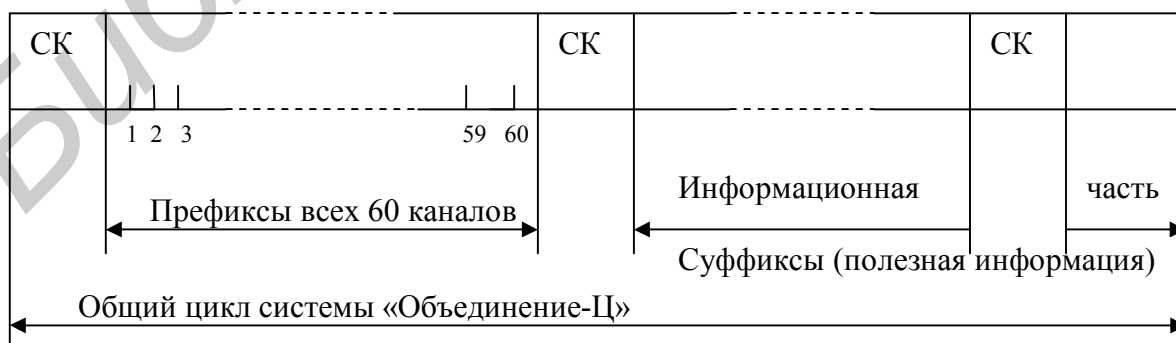


Рис.3.17 Структура цикла цифрового сигнала транскодека системы «Объединение-Ц»

Цикл передачи длиной 2 мс содержит 4096 бит, что соответствует *сверхциклу* первичной системы ИКМ-30. Сигналы *цикловой синхронизации (ЦС), управления и взаимодействия (СУВ), а также телеобслуживания (ТО)* передаются по служебным каналам (СК). Для этого в каждом цикле сигнала используется 512 бит, которые с целью унификации подсистемы ЦС, уменьшения задержки и объема памяти равномерно распределены по всему циклу передачи пачками по 16 бит. Оставшиеся 3584 бита (точнее позиций цикла) обеспечивают передачу цифровых сигналов 60 каналов двух первичных цифровых систем передачи (ЦСП). Статистическое сжатие осуществляется поканально, а затем последовательно формируется общий цифровой сигнал в соответствии с приведенной структурой.

Формирование информационного цифрового потока осуществляется следующим образом.

Последовательность 8-разрядных кодовых слов каждого индивидуально-го цифрового телефонного канала связи, структура которого определяется *A*-законом компандирования, разделяется на неперекрывающиеся блоки по  $m=16$  кодовых слов; в каждое кодовое слово входит 8 бит (разрядов). В результате анализа всех  $m$  кодовых слов данного блока выявляется самый старший бит, за исключением знакового, т.е. определяются нулевые старшие биты, общие для всех кодовых слов в этом блоке. Следовательно, можно сократить число бит (разрядов) для всех кодовых слов данного блока, не внося каких-либо искажений в передаваемые сообщения. Значит, блок будет состоять из знакового бита каждого кодового слова, старшего нулевого бита каждого кодового слова и бита уровня квантования.

Таким образом, в каждом индивидуальном цифровом телефонном канале информационный блок из  $16 \cdot 8 = 128$  бит преобразуется в совокупность *управляющего префикса* (7 бит) и группы из 16-ти укороченных кодовых слов с обязательным сохранением знакового бита (разряда). Результирующая длина формируемого информационного пакета (части) оказывается переменной, но *однозначно* определяется *префиксом*.

*Префиксы* всех  $N = 60$  каналов сосредоточены в начале цикла передачи и используются:

- во-первых, для разделения бит (разрядов) группового сигнала цифрового статистического транскодека между каналами и между кодовыми словами на приемной стороне;

- во-вторых, для восстановления в декодере исключенных при передаче нулевых старших бит (разрядов) кодовых слов.

Алгоритм передачи построен так, что в случае, когда в данном цикле сумма длин сжатых информационных пакетов (частей) всех  $N = 60$  каналов превышает возможности системы, из процесса передачи исключаются младшие биты (разряды) в кодовых словах всех (или некоторых) каналов системы. При этом кратковременно возрастают искажения квантования во всех каналах, а не только в каналах, биты которых оказались в конце пакета.

Для обеспечения требуемой помехоустойчивости системы по отношению к цифровым ошибкам в тракте передачи биты префикса дополнительно кодируются кодом Хэмминга с параметрами  $(n, k, d_0) = (7, 4, 3)$ , корректирующем одиночные ошибки, возникающие в префиксе при передаче по каналу связи; четыре информационных бита префикса дополняются тремя проверочными (контрольными) битами, сформированными из информационных по определенному алгоритму.

Таким образом, сжатие цифрового пакета передачи объемом 4096 бит, осуществляется следующим образом:

1. Для передачи сигналов *ЦС*, *СУВ* и *ТО* используется 512 бит, т.е. 12,5 % от максимального объема пакета.

2. Для передачи префиксов индивидуальных каналов или управляющего сигнала статистического сжатия используется  $N * l = 60 * 7 = 420$  бит, или 10,25 % от максимального объема пакета.

3. Для передачи собственно кодовых слов (полезной информации) остается 3164 бит, или 77,25 % от максимального объема пакета.



Общий коэффициент сжатия информации с использованием транскодека равен 2 ( $K_{сж} = 2 * B / B = 2 * 2048 / 2048 = 2$ ) и обеспечивается за счет передачи префиксов кодовых слов и самих кодовых слов (разрядов кода сегмента и уровней квантования).

В прил. 1 приводятся краткие сведения о влиянии ошибок квантования и канальных ошибок на качество передачи информации в системах связи с ИКМ.

В прил. 2 приводятся типы помехоустойчивых кодов, используемые в системах связи с ИКМ для повышения качества передачи информации.

### **Заключение**

Из представленного материала следует, что эффективное использование пропускной способности абонентских линий связи является актуальной задачей современной теории и практики электросвязи. Проблемными остаются вопросы уменьшения сложности реализации кодеков речевых сигналов, обеспечивающих высокое качество передачи речевых сигналов при канальной скорости 8 – 16 Кбит/с, а также вопросы эффективного применения помехоустойчивых кодов в цифровых системах уплотнения.

## Литература

1. Денисьева О.М., Мирошеников Д.Г. Средства связи для «последней мили». – М.: ЭКО – ТРЕНДЗ, 2001.
2. Ситняковский И.В., Мейкшан В.Н., Митлицкий Б.М. Цифровая сельская связь. – М.: Радио и связь, 1994.
3. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Сов. радио, 1970.
4. Злотник Б.М. Помехоустойчивые коды в системах связи. – М.: Радио и связь, 1989.
5. Берганов И.Р. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1989.
6. Денисьева О.М., Немчинов В.М. Цифровые системы передачи для абонентских линий //Электросвязь. 1996. №5. С. 18 – 21.
7. Мирошников Д.Г., Далленбах Д.Н., Денисьева О.М. WATSON – новая цифровая система передачи для абонентских и соединительных линий // Электросвязь. 1996. №10. С. 37 – 42.
8. Мирошников Д.Г., Далленбах Д.Н. Цифровые системы передачи для абонентских и соединительных линий: новые решения //Электросвязь. 1997. №3. С. 43 – 44.
9. Острейко Е.К. Цифровизация медно-кабельных магистральных линий связи: представляем WATSON – 4 – MEGATRANS //Электросвязь. 1994. №8. С. 13 – 15.
10. Парфенов Ю.А., Чернова О.Н. К практическому использованию оборудования XDSL //Электросвязь. 2001. №10. С. 34 – 35.

## Приложение 1

### Влияние ошибок квантования и канальных ошибок на качество передачи информации в системах связи с ИКМ

#### 1. Влияние ошибок квантования на качество передачи информации в системах связи с ИКМ

Ошибки квантования приводят к ухудшению качества передачи информации, так как при их наличии уменьшается отношение  $P_c$  к  $P_{ш}$  ( $P_c/P_{ш}$ ) на входе ЦАП. Ошибки квантования проявляются по-разному для каждого типа передаваемой информации, а также зависят от способа квантования. Так, например, для классической ИКМ ( $B = 64$  Кбит/с) ошибки квантования определяются двумя типами шумов [2, 4, 5]:

- а) квантования;
- б) связанный с перегрузкой квантования.

При использовании ДМ и ДИКМ возникают два типа шумов квантования [2, 4]:

- а) шум дробления, который влияет на качество передачи информации, как шум квантования при ИКМ;
- б) шум перегрузки по крутизне, который влияет на качество информации как шум, связанный с перегрузкой квантования при ИКМ.

Как же влияют ошибки квантования на качество передачи информации, например, речевых сигналов, телефонных переговоров, магнитных записей и т.д.?

Качественное ухудшение речевых сигналов проявляется в следующем [2, 4, 6, 8]:

- 1) ухудшение разборчивости речи (записи);
- 2) уменьшение отношения  $P_c/P_{ш}$ , что приводит к увеличению канальных ошибок и к ошибочному восстановлению отсчета в целом, соответственно ухудшается разборчивость речи и снижается громкость звуковых сигналов.

При передаче музыки ошибки квантования проявляются слабее, чем при передаче речи, так как динамический диапазон музыкальных передач более чем в 2 раза превышает динамический диапазон речевых передач. Ошибки кванто-

вания при передаче музыки проявляются также двояким образом: уменьшение громкости и снижение качества восприятия.

## **2. Влияние канальных ошибок на качество передачи информации в системах связи с ИКМ**

Канальные ошибки, так же как и ошибки квантования, приводят к ухудшению качества передачи информации, которое зависит как от способа квантования, так и от вида передаваемой информации. Так, например, при передаче речи наиболее заметным ухудшением является появление «щелчков» в телефоне или же при восприятии речи на «слух». При передаче изображений канальные ошибки приводят к появлению «штрихов», «мерцающих точек» на изображении. При этом канальные ошибки по-разному влияют на качество передачи информации в зависимости от того, какие разряды кодового слова, отсчета ими искажаются. Так было выявлено, что, если искажаются старшие разряды кодового слова, то щелчки отчетливо слышны при  $P_k = 10^{-6}$ , а при ошибках в младших разрядах кодового слова щелчки практически не слышны при  $P_k = 10^{-4}$ .

Ухудшение качества музыкальных передач при возникновении канальных ошибок в системах связи с ИКМ также проявляется в виде щелчков.

Канальные ошибки ухудшают качество передачи информации как при ИКМ, так и при ДМ и ДИКМ. Однако было установлено, что при использовании способа ИКМ влияние канальных ошибок более заметно, чем при ДМ и ДИКМ, особенно для речевых сигналов. Сбой символа кодового слова ИКМ может вызвать большой ошибочный «всплеск» (размножение ошибок), величина которого соответствует динамическому диапазону квантования. При использовании ДМ и ДИКМ такой же величины сбой приводит к ошибочному «всплеску» меньшей величины из-за меньшего динамического диапазона квантования, обусловленного наличием цепи обратной связи. Однако меньшая избыточность информации при ДИКМ и ДМ в некоторых случаях системы передачи оказывается более чувствительной к канальным ошибкам.

В случаях обнаружения ошибок квантования могут быть использованы следующие способы повышения качества передачи информации [2, 4, 5]:

1) введение нового отсчета (чаще нулевого отсчета) вместо неправильного отсчета - этот способ носит название способа «глушения»;

2) экстраполяция нулевого порядка (простая) или повторение предыдущего отсчета;

3) интерполяция первого порядка (линейная) или усреднение двух соседних отсчетов;

4) экстраполяция первого порядка (линейная) или определение отсчета по двум предыдущим;

5) применение помехоустойчивых кодов и др.

Эффективность данных способов различна и определяется характером (типом) передаваемой информации: речь, музыка, изображение и т.д. Установлено, что линейная экстраполяция во всех случаях оказывается *хуже* интерполяции. Контрольные прослушивания показали, что для маскировки ошибок достаточно применять простую экстраполяцию, при которой частота ошибок может быть увеличена на 1,5 порядка, т.е. в 15,0 раз при сохранении заданного качества сигнала.

Эффективность применения помехоустойчивых кодов для повышения качества передачи информации в системах связи с *ИКМ* первоначально рассматривалась относительно защиты от канальных ошибок старших разрядов кодовых слов сигнала *ИКМ*. При этом исследовались два способа применения помехоустойчивых кодов, которые предусматривали:

- первый способ – обнаружение и исправление ошибок;

- второй способ – только обнаружение ошибок и замену неправильного отсчета новым отсчетом.

Критерием оценки применения данных способов является сложность их аппаратурной реализации.

## Приложение 2

### Типы помехоустойчивых кодов, используемые в системах связи с ИКМ

#### 1. Типы помехоустойчивых кодов, используемые для кодирования отсчетов

Для кодирования отсчетов используются как *простые (равновероятные) коды (минимальное, или хэмминговоe расстояние  $d_0 = 1$ )*, так и *помехоустойчивые (избыточные) коды с  $d_0 \geq 3$* .

Из простых кодов наибольшее применение получили *коды Харпера*, к которым относятся [2, 4, 5]:

- 1) *натуральный двоичный код;*
- 2) *симметричный двоичный код;*
- 2) *код Грея.*

Особенностью данных кодов является то, что все они имеют одну и ту же *среднюю величину ошибки*, когда ошибки возникают независимо от передаваемого символа и соседние ошибки также независимы.

При существенно малой вероятности ошибки и независимости ошибок (данное свойство характерно для ДСК без памяти) *коды Харпера* являются *оптимальными* в смысле минимизации *средней абсолютной величины ошибки*. На выходе квантователя выходной сигнал может быть представлен в виде симметричного двоичного кода, например, 1001101000101001. Первый бит кодового слова определяет полярность отсчета, а все последующие – абсолютную величину отсчета. Так, если используется  $Q = 8$  уровней квантования, то каждый отсчет кодируется тремя битами:  $x_{11}$ ,  $x_{10}$ ,. При  $Q = 16$  уровнях квантования каждый отсчет кодируется четырьмя битами:  $x_{111}$ ,  $x_{110}$ , .

Данный двоичный код выбран для кодирования отсчетов по следующим причинам [2, 4]:

- из-за его малой чувствительности к канальным ошибкам;

-вследствие большой плотности логических единиц, что обеспечивает хорошие условия работы устройств синхронизации при квазитроичной передаче информации.

Сравнительно малая чувствительность к канальным ошибкам объясняется тем, что речевые сигналы имеют большую вероятность так называемых *нулевых значений* (в паузах речи), а ошибки в *символе знака* вызывают ошибку, пропорциональную уровню символа в этот момент. При натуральном (обычном) коде сбой бита может привести к ошибке величиной в половину всего диапазона амплитуд.

Другим вариантом двоичного кода является *код Грея*, он также имеет знаковый бит или разряд (символ). Так, например, при  $Q = 16$  уровнях квантования *код Грея* имеет вид 1000,1001,1011,0001,...,0000. Однако здесь не обеспечивается большая плотность логических единиц при малых входных уровнях сигнала.

*Код Грея*, используемый при кодировании значений отсчетов, строится так, чтобы при каждом изменении уровня входного сигнала на один уровень, изменялось значение только одного бита (разряда) кодового слова. Например, уровень шестнадцатый – 1000, а уровень пятнадцатый – 1001 и т.д. Однако и при использовании данного кода одиночный сбой бита может вызывать ошибки от минимума ( $F_1(x) = \underline{1000} \rightarrow F_1'(x) = \underline{0000}$ ,  $t_{ош} = 1$  бит) до максимума ( $F_2(x) = \underline{1111} \rightarrow F_2'(x) = \underline{0000}$ ,  $t_{ош} = 4$  бита).

*Двоичные коды*, в том числе *коды Грея*, которые строятся путем зеркального отображения, носят название *рефлексных кодов*.

## **2. Квантование с использованием помехоустойчивых кодов**

Теоретически и практически широко исследовались два способа применения помехоустойчивого кодирования при преобразовании аналоговых речевых сигналов в цифровой сигнал, а именно [2, 4, 5]:

1) помехоустойчивое кодирование выходных сигналов каждого квантователя речевых сигналов, т.е. индивидуальное помехоустойчивое кодирование выходного сигнала каждого АЦП;

2) помехоустойчивое кодирование группового сигнала ИКМ, т.е. помехоустойчивое кодирование объединенного цифрового потока.

При применении первого способа помехоустойчивого кодирования целесообразно защищать помехоустойчивым кодом наиболее важные (знаковые) биты (разряды) кодового слова отсчета, оставляя другие биты кодового слова незащищенными.

Достоинствами данного способа являются: минимальная избыточность информации; возможность применения кодов, корректирующих независимые ошибки.

Недостатками способа являются:

- высокая сложность алгоритма формирования кодового слова как при кодировании, так и при декодировании информации;
- большая задержка информации при декодировании;
- высокая сложность алгоритмов и устройств цикловой синхронизации кодеков помехоустойчивых кодов.

В связи с перечисленными недостатками данный способ помехоустойчивого кодирования отсчетов речевых сигналов не нашел широкого применения в системах связи с ИКМ сигналом.

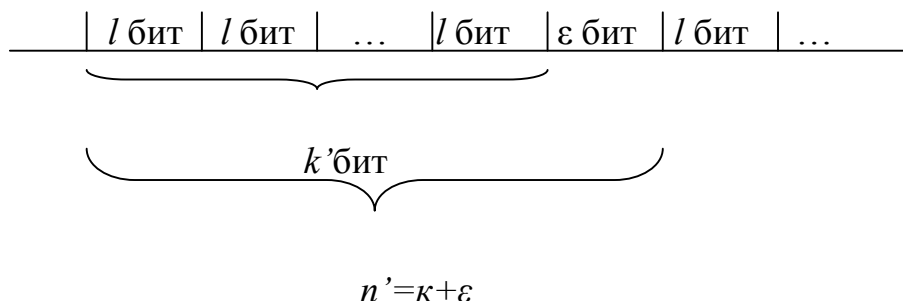
Наибольшее практическое применение получил циклический код с параметрами  $(n, k, d_0) = (3, 1, 3)$ , который обнаруживает двойные ошибки и корректирует одиночные ошибки. При использовании данного кода защищается знаковый бит кодового слова, а затем к кодовым битам циклического кода «добавляются» биты кодового слова отчета, общее число бит кодового слова отсчета составляет  $n + (l - 1)$  бит.

Второй способ помехоустойчивого кодирования может быть реализован двумя методами:

- $l$  бит (разрядов) каждого отсчета объединяются в блоки, содержащие  $k'$  бит, из которых формируются  $\varepsilon$  проверочных бит, и таким образом формируется циклический код с параметрами  $(n', k', d'_0)$ ;  $n' = k' + \varepsilon$ . При реализации данного



метода используется циклический код с параметрами  $(n', k', d')=(31, 26, 3)$ . В общем случае данный метод помехоустойчивого кодирования можно представить следующим образом:



При данном методе защищаются от помех все  $k'$  информационных бит:

- из  $l$  бит каждого отсчета выбирается один, наиболее важный по значению бит и которые затем объединяются в блок из « $k$ » бит. Из данных информационных бит формируется  $\varepsilon$  проверочных бит. Таким образом, формируется циклический код с параметрами  $(n', k', d')=(k'+\varepsilon, k', d')$ . Кодовые символы (разряды) сформированной кодовой последовательности  $n'$  передаются после окончания передачи символов всех задействованных отсчетов.

Были получены теоретические и практические результаты по применению помехоустойчивого кодирования для ИКМ сигналов, которые показали их достаточно близкое совпадение (рис. П 2.1).

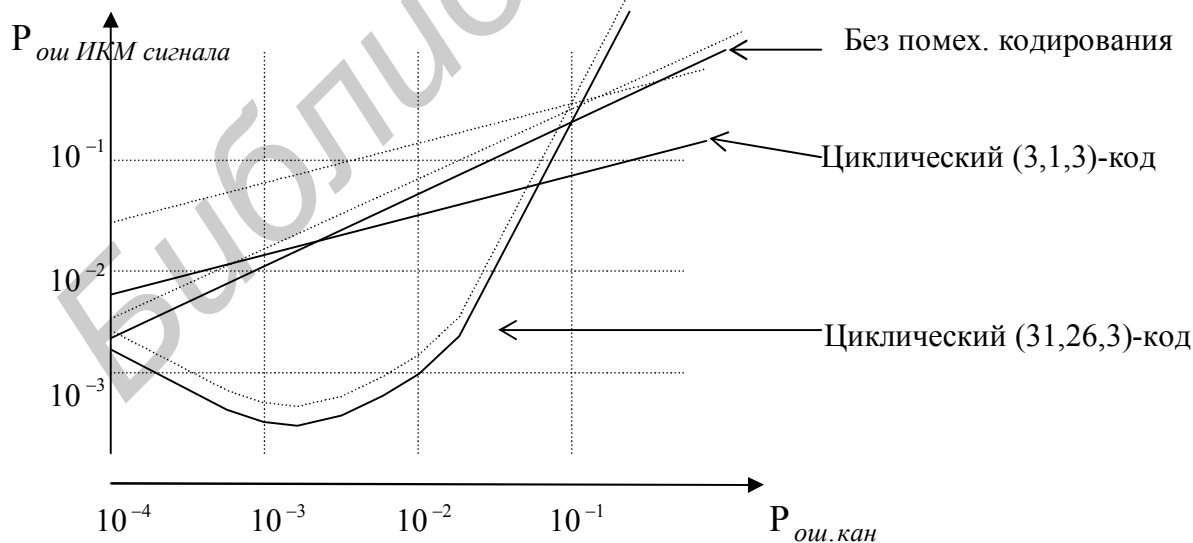


Рис. П 2.1. Кривые зависимости  $P_{ош.кан}$  от уровня канальных ошибок при использовании помехоустойчивых кодов

Пунктиром показаны кривые вероятности ошибочного приема ИКМ сигнала, рассчитанные по формуле [2,4]

$$P_{\text{ош.икм.сигнала}} = \delta * \left( \frac{q_{\text{ош}}^l}{4} + P_{\text{ош}} \sum_{i=1}^{l-\sigma} 2^{l-1} * q_{\text{ош}}^{l-\sigma-i} \right), l > \sigma,$$

где  $\delta$  - шаг квантования;

$q_{\text{ош}}$  - ошибка квантования;

$P_{\text{ош}}$  - вероятность канальной ошибки по битам;

$l$  - количество бит (разрядов) кодового слова на каждый отсчет;

$\sigma$  - количество защищаемых бит (разрядов).

Из данной формулы видно, что  $P_{\text{ош.икм.сигнала}}$  зависит как от ошибок квантования и канальных ошибок, так и от количества бит, приходящихся на один отсчет.

Кроме того, из приведенных кривых  $P_{\text{ош.икм.сигнала}}$  следует:

- вероятность ошибочного приема ИКМ сигнала уменьшается с  $10^{-2}$  до  $10^{-3}$ ;
- циклический (31, 26, 3)-код обеспечивает широкий интервал уменьшения

$P_{\text{ош.икм.сигнала}}$ ;

- циклический (3, 1, 3) -код обеспечивает наибольшее уменьшение

$P_{\text{ош.икм.сигнала}}$  в диапазоне канальных ошибок  $P_{\text{ош.кан}} = 10^{-2} - 10^{-3}$ .

Учебное издание

**Королев Алексей Иванович**

**Высокоскоростные технологии передачи информации  
по абонентским и соединительным линиям связи**

Учебное пособие

по дисциплине «Цифровые системы передачи информации»  
для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»  
дневной, вечерней и заочной форм обучения

Редактор Н.А. Бебель  
Корректор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать 04.07.2005.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 4,19.
Уч.-изд. л. 3,3.	Тираж 100 экз.	Заказ 4.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.  
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6