

ОСНОВЫ  
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

*Часть 0 - Принципы*

Князев Кирилл Григорьевич  
руководитель группы ОАО «МТС»  
к.т.н., с.н.с.

# Цели, задачи курса

## Цели курса

1. Дать введение в основные принципы, методы, подходы к решению задач, технологии современной связи.
2. Провести обзор современных технологий связи, особенностей построения современных систем и сетей связи (электросвязи).

## Задачи курса

1. Создать теоретическую и практическую базу для постановки и решения задач в области связи.
2. Создать основу для взаимодействия со специалистами различных специальностей при проектировании, разработке, организации эксплуатации систем и сетей связи.

# Программа курса

1. Введение
2. Основные понятия и принципы электросвязи
3. Сигналы и каналы электросвязи
4. Системы передачи и транспортные сети
5. Телефонные сети
6. Сети передачи данных
7. Телематические службы
8. Сети подвижной радиосвязи
9. Сети с интеграцией служб
10. Системы сетевого управления и биллинга
11. Качество в электросвязи

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

**Связь –**

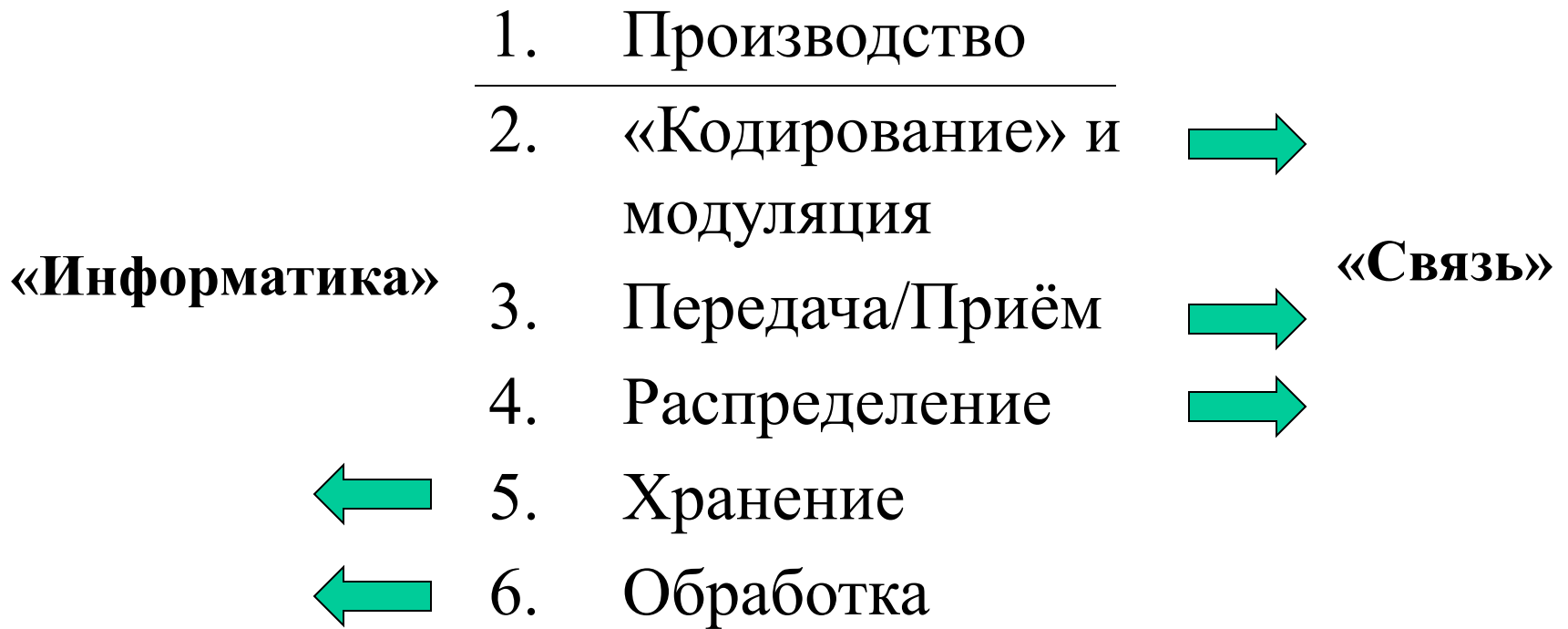
- 1) Передача и прием информации с помощью различных технических средств.
- 2) Отрасль народного хозяйства , обеспечивающая передачу и прием почтовых, телефонных, телеграфных, радио- и др. сообщений.



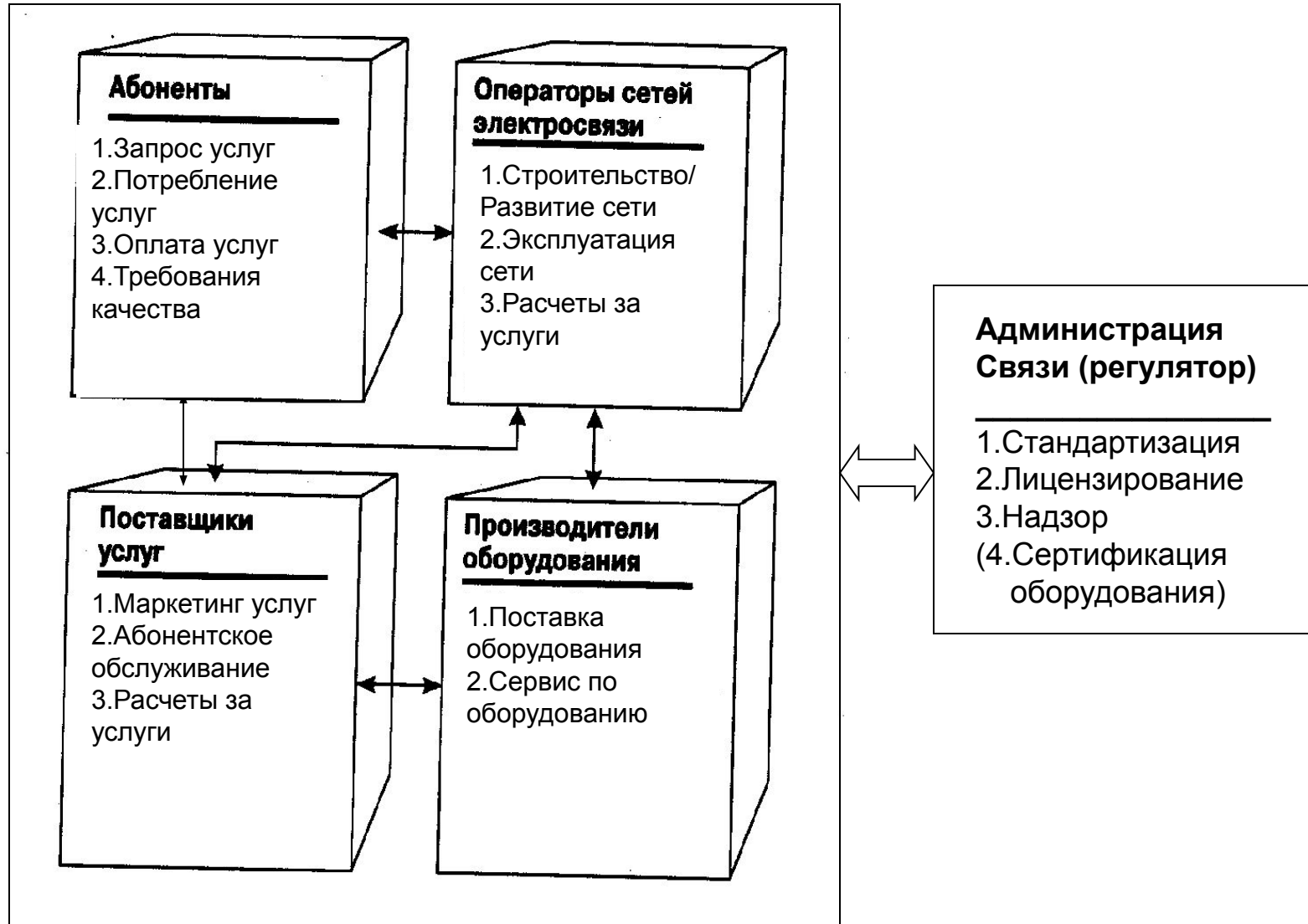
**Электросвязь -**  
передача информации посредством электрических (оптических) сигналов, распространяющихся по проводам (проводная связь), или (и) радиосигналов (радиосвязь)

**Почтовая связь**  
передача почтовых отправлений (писем, газет, бандеролей...)

# Виды преобразований информации:



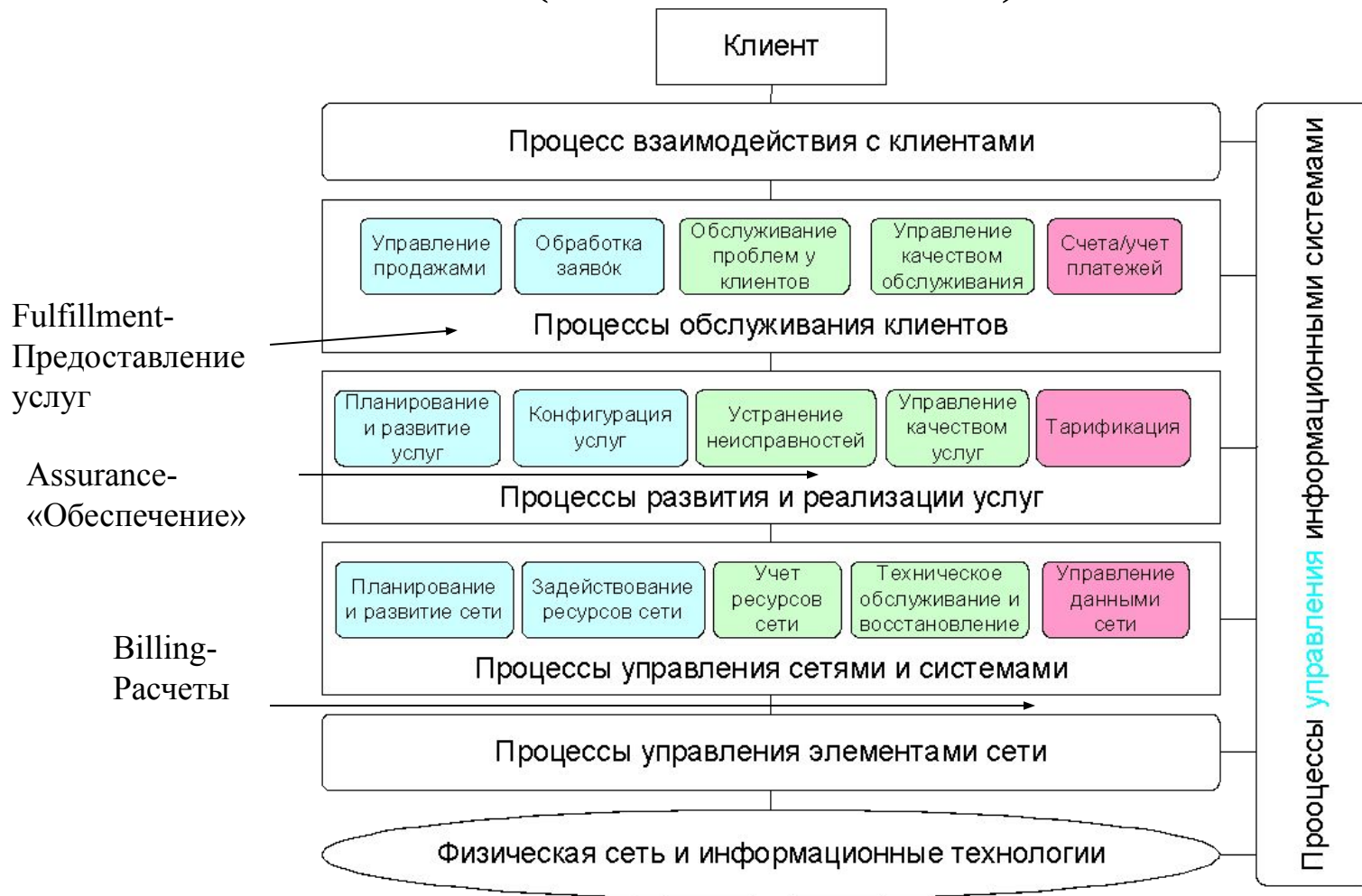
# Роли участников рынка связи



# Запросы участников рынка связи

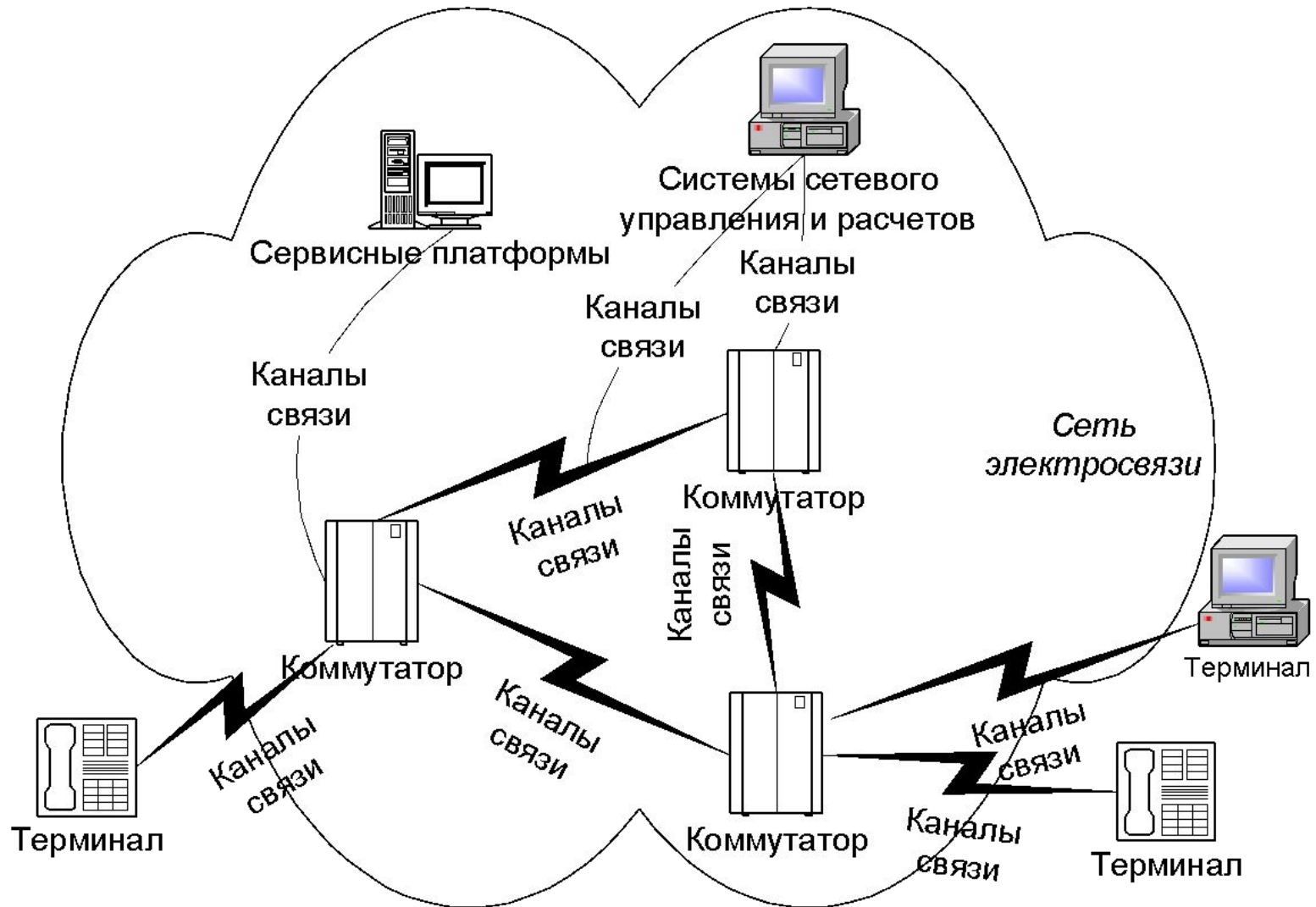


# Виды деятельности оператора связи (FAB-модель)





# Обобщенная структура сети связи



# К обобщенной структуре сети связи

Терминал (оконечное устройство) -

(телефонный аппарат, ЭВМ, ТВ/радио-приемник/передатчик, факс, сотовый телефон...)

Канал связи –

совокупность линий связи (радио, радиорелейных, спутниковых, кабельных,...) и оборудования передачи (усилители, преобразователи, мультиплексоры,...), обеспечивающая передачу нормализованного сигнала между 2 или более точками

Коммутатор –

(телефонная станция, маршрутизатор, ...) устройство адресного распределения сигналов пользователей //в малых или специализированных сетях может отсутствовать

Система сетевого управления –

компьютерная система, обеспечивающая поддержку эксплуатации и технического обслуживания сети (контроль/диагностика, измерения, управление конфигурацией...)

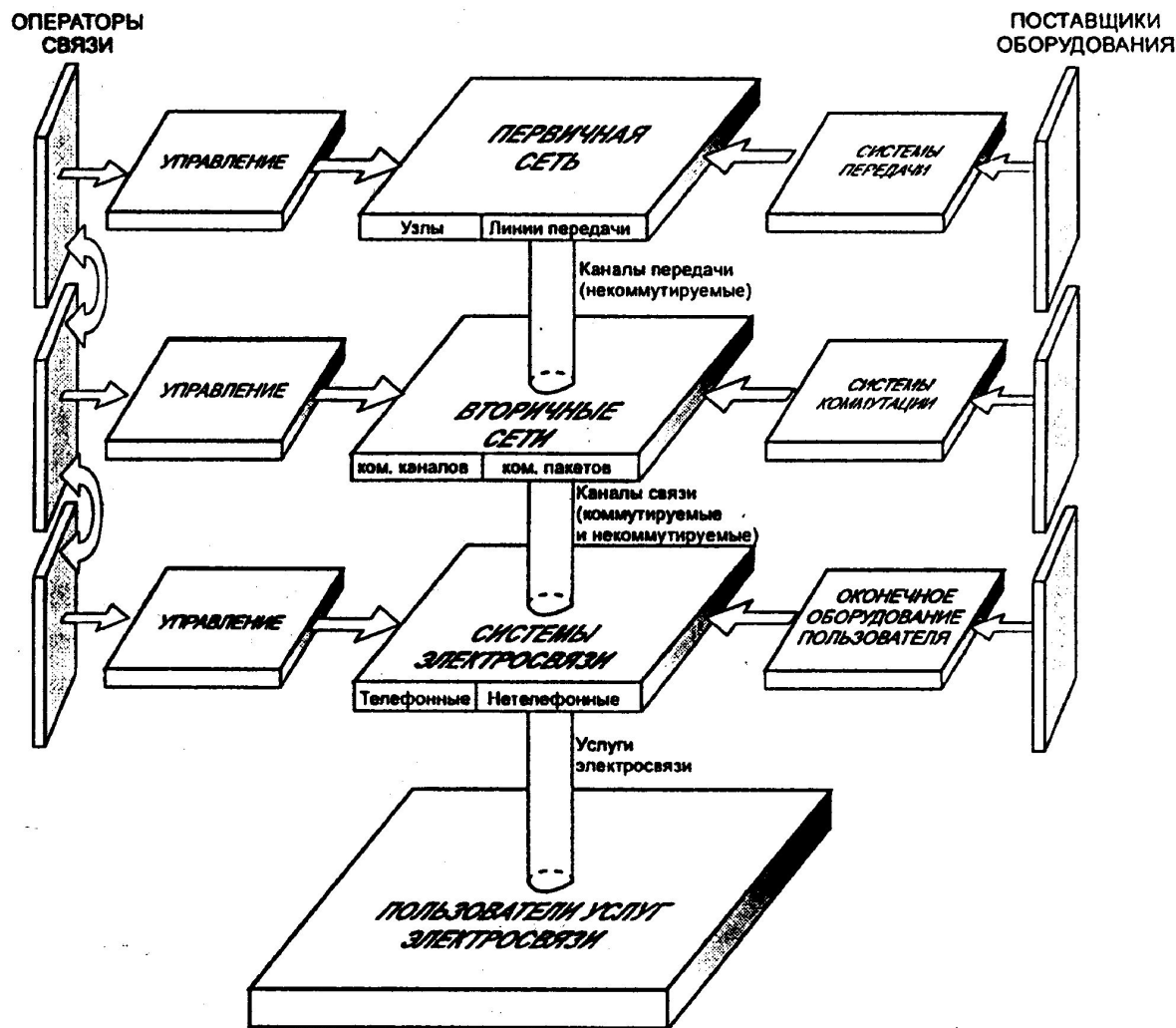
Система расчетов (АСР) –

компьютерная система, обеспечивающая учет используемых ресурсов, тарификацию и выставление/контроль оплаты счетов клиентам

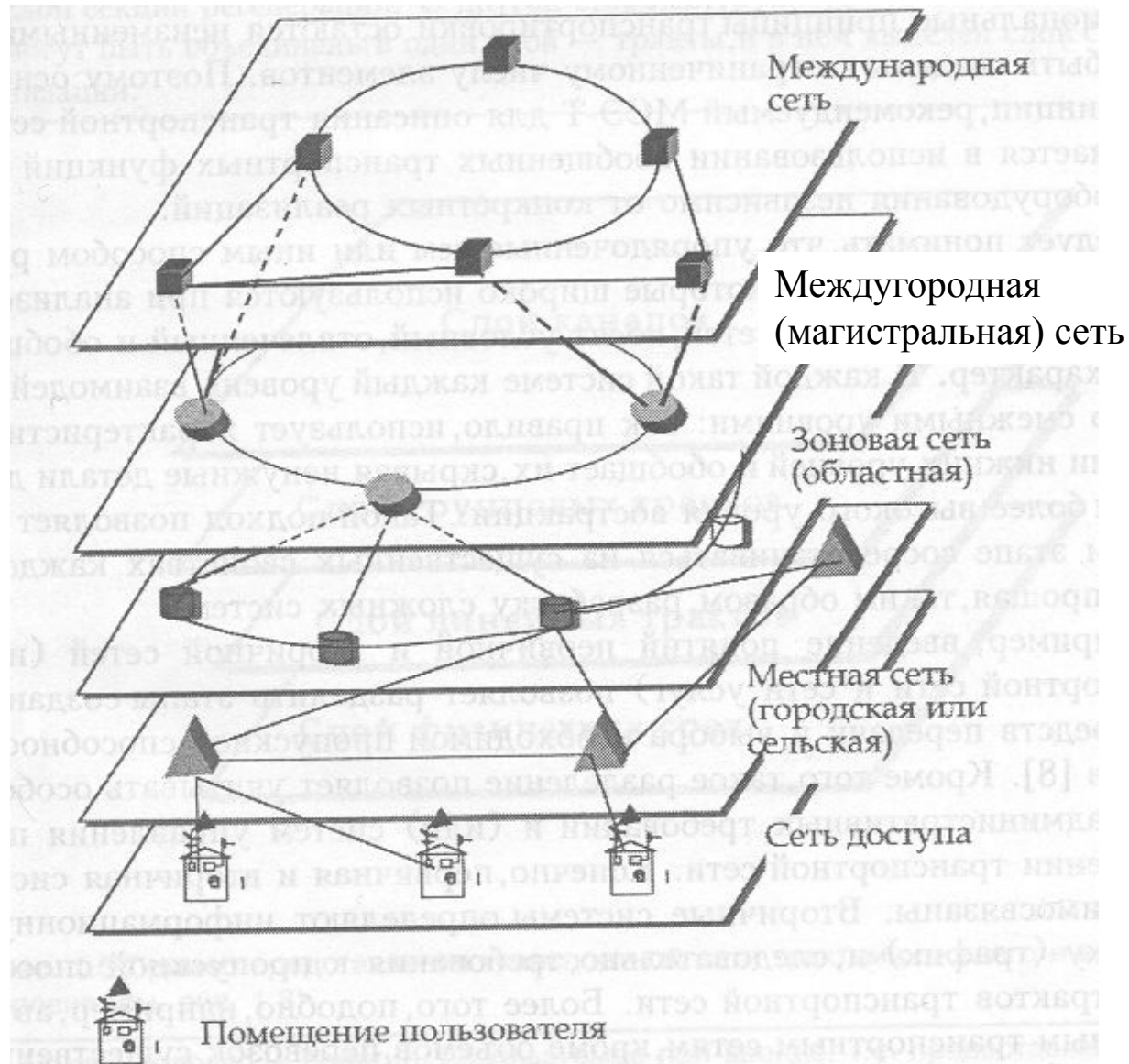
Сервисная платформа –

компьютерная система, содержащая информацию и программы для оказания услуг

# Архитектура сетей связи в России (устаревший – до 2005 г. – РД по ВСС РФ – взаимоувязанной сети связи)



# Иерархическая структура сети связи России



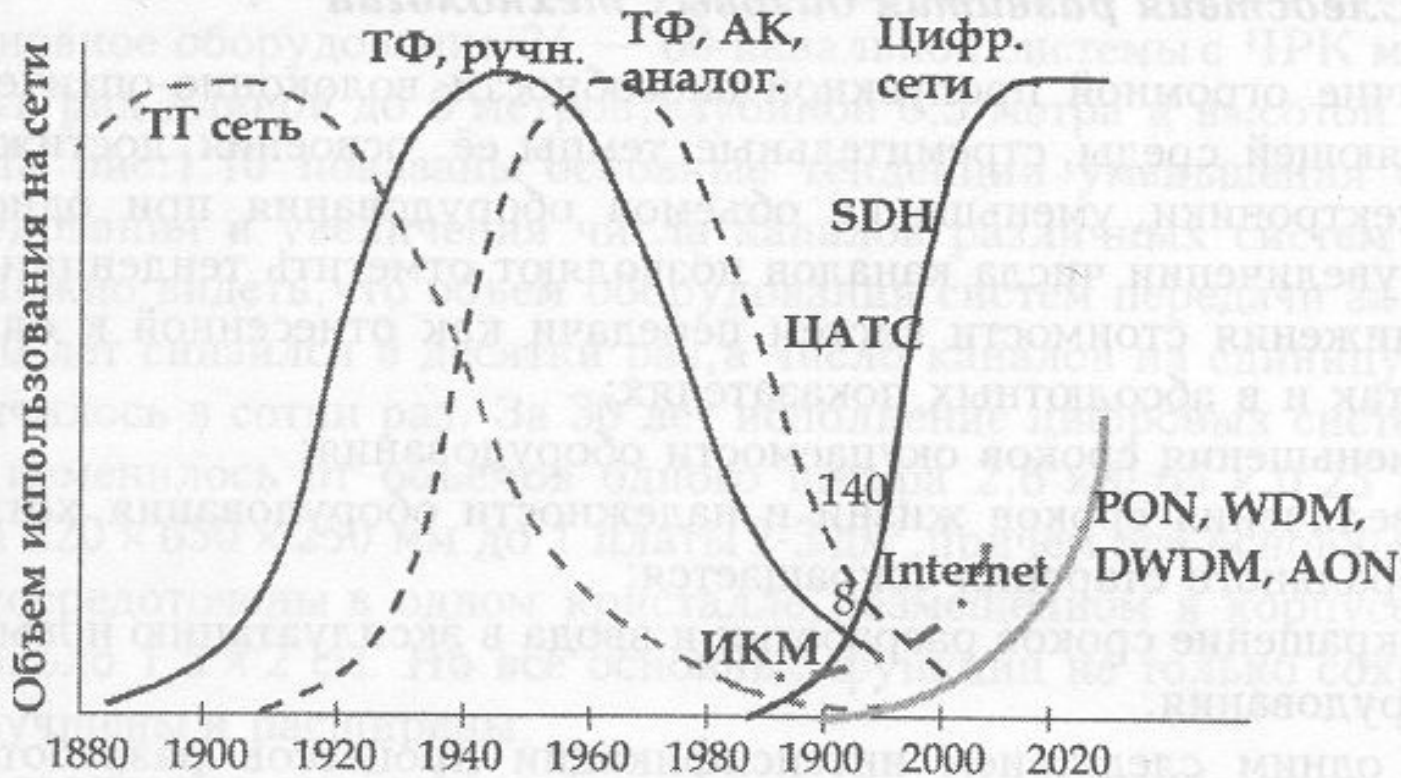
# Вехи истории связи (1)

Годы 1	Изобретатель 2	Страна 3	Сущность изобретения 4
1832	Шиллинг	Россия	Создание первого практически пригодного электромагнитного телеграфного аппарата
1837	Морзе	США	Изобретение электромеханического телеграфа и кода для телеграфирования, который дожил до второй половины XX века
1847	Сименс	Германия	Изобретение стрелочного телеграфа
60-е гг. XIX века		Англия	Первая телеграфная передача по подводному кабелю через Атлантический океан
1876	Белл	США	Изобретение телефонного аппарата, принципы которого в той или иной степени дошли и до наших дней
1877	Бодо	Франция	Изобретение пятиэлементного кода для телеграфирования, который дожил до середины XX века, и необходимых для телеграфирования устройств
1878		США	Изобретение первой ручной телефонной станции (те же принципы используются, когда люди сейчас обращаются к оператору для установления телефонных соединений)
80-е гг. XIX века	Максвелл	Англия	Создание теории электромагнитных волн
1884	Нипков	Германия	Изобретение оптико-механического устройства для передачи и приема изображений
1886-1889	Герц	Германия	Демонстрация излучения электромагнитных (радио) волн
1895	Попов Маркони	Россия Италия	Изобретение радиоприемника
90-е гг. XIX века		США	Изобретение автоматической телефонной станции

# Вехи истории связи (2)

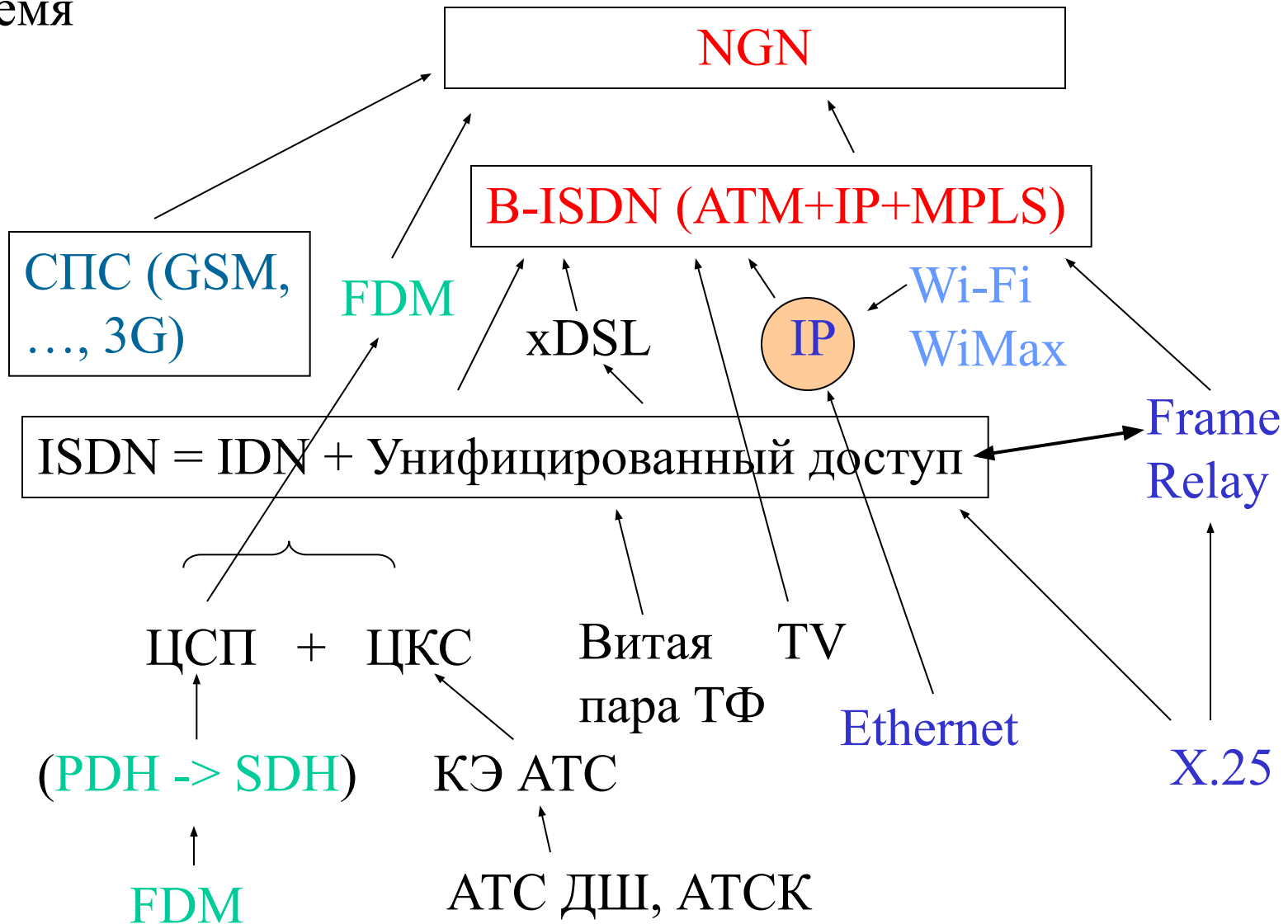
1	2	3	4
10-е гг. XX века	Эрланг	Дания	Создание теории телетрафика
10-е гг. XX века			Первая телефонная связь на большие расстояния
20-е гг. XX века			Создание первой системы передачи
30-е гг. XX века	Зворыкин	США	Изобретение нашедшего применение электронного телевидения
40-е гг. XX века	Шеннон	США	Создание теории передачи информации
40-е гг. XX века	Кларк	Англия Шри-Ланка	Предложение по созданию связи с использованием искусственных спутников Земли
1962 г.		США	Создание и использование для передачи сигналов связи первого искусственного спутника Земли
70-е гг. XX века		США	Создание систем оптической связи по кабелю с использованием лазеров

# Тенденции развития технологий СВЯЗИ



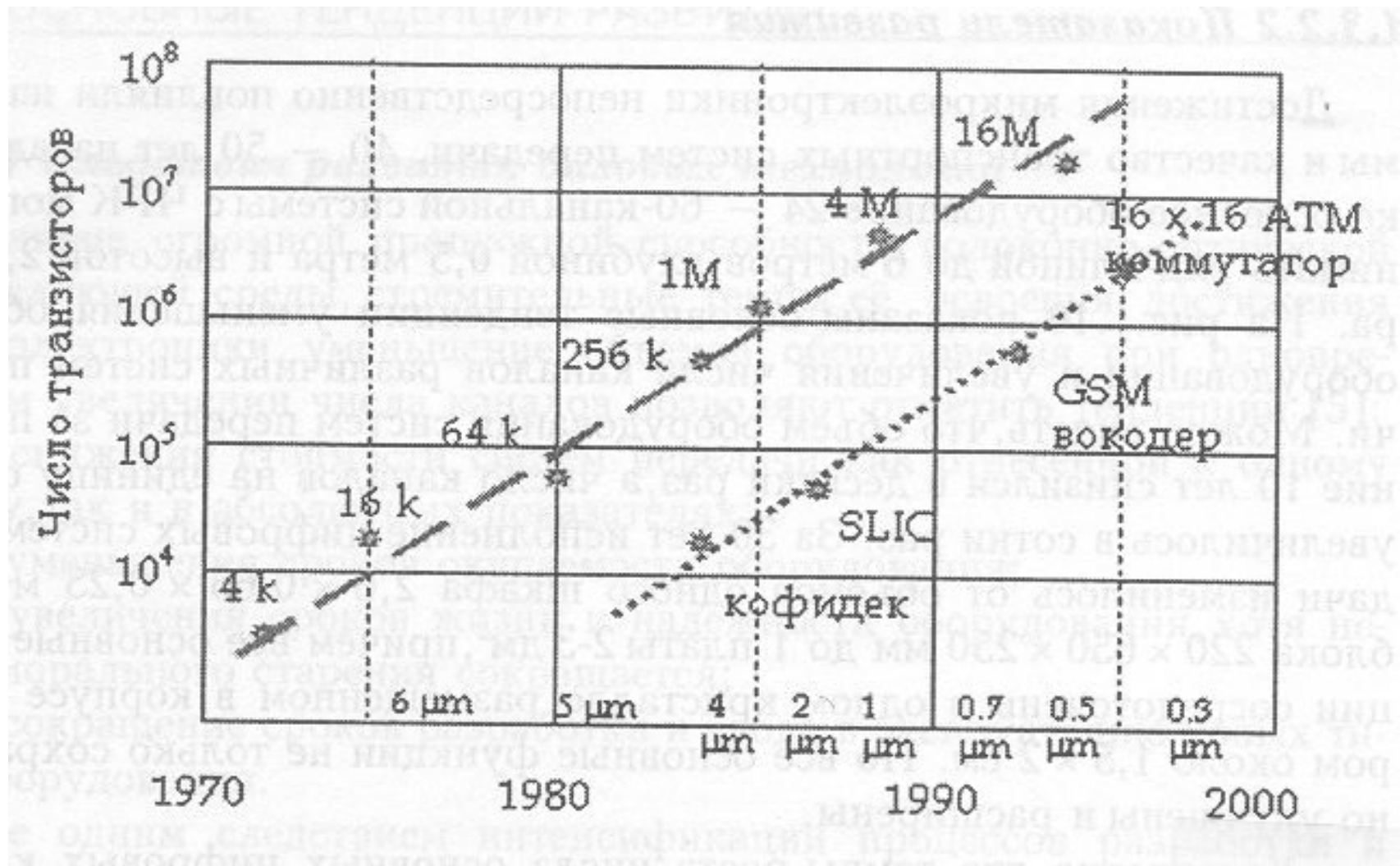
# Эволюция технологий связи

Время





# Тенденции развития микроэлектроники



# Особенности сетей связи как предмета деятельности

- Масштабность (большая размерность задач)
- Сложность
- Стохастичность
- Многопараметричность / многокритериальность  
(Производительность – Качество – Стоимость)
- Многотехнологичность (PSTN – ISDN – Internet – ATM...)
- Инерционность развития

# Основные требования к сетям связи

- Эффективность (в смысле бизнес-управления)
- Расширяемость
- Масштабируемость
- Высокая надежность ( $k_r > 0.99995$ )
- Эксплуатационная пригодность
- Необходимая производительность
- Соответствие стандартам
- Разнообразие обеспечиваемых услуг (оборудование и сеть = “service enabler”)

# Услуги в связи

**Услуга связи –**

**деятельность по приему, обработке, хранению, передаче, доставке сообщений электросвязи или почтовых отправлений**

**(ФЗ О связи 2003 г.)**

**Услуга –**

**функциональные возможности, предоставляемые одним объектом (поставщиком услуг – service provider) другому (пользователю – service user)**

# Систематика сетей связи (1)

*По видам передаваемых сигналов*

Цифровые

в каждый момент времени сигнал может принимать одно из целочисленного конечного набора значений

Аналоговые

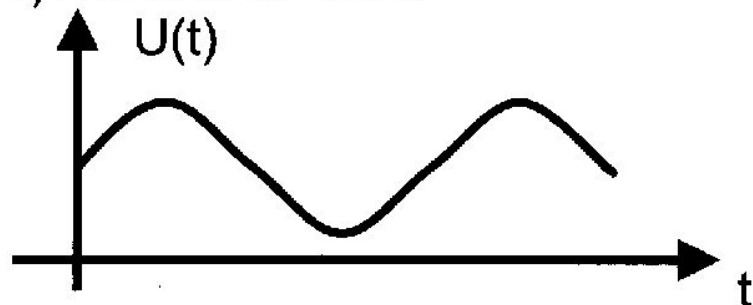
*По способу распределения информации*

Коммутируемые

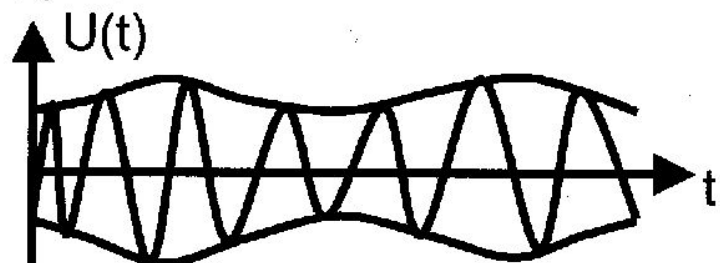
Некоммутируемые (dedicated/»выделенные«)

# Виды электрических сигналов связи

а) Аналоговый сигнал



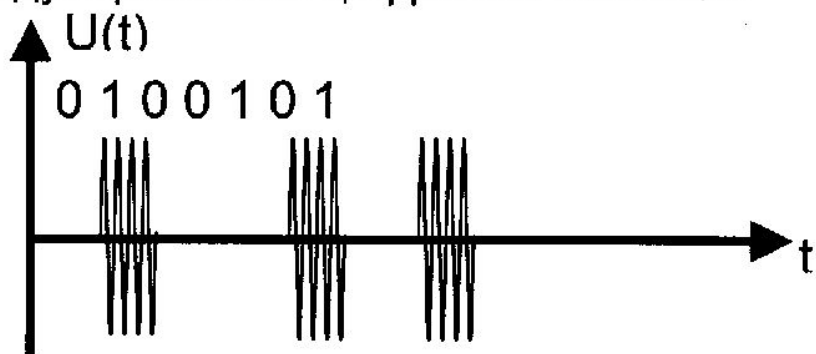
А) Высокочастотные колебания, модулированные аналоговым сигналом



б) Цифровой сигнал



Б) Высокочастотные колебания, модулированные цифровым сигналом



# Систематика сетей связи (2)

## *По видам коммутации*

С коммутацией каналов (гарантированное качество, минимальные задержки при передаче)

До передачи информации создается канал связи

С коммутацией сообщений

Сообщение пользователя передается с промежуточным накоплением в транзитных узлах

С коммутацией пакетов

Сообщение пользователя нарезается на пакеты для последующей передачи

## *По режиму доступа пользователей*

Общего пользования (public)

Частного пользования

# Систематика сетей связи (3)

*По роли в многоуровневой архитектуре сети*

Сеть уровня помещения пользователя (CP – customer premises)

Сеть доступа (Access)

Местная (локальная – Local)

Магистральная сеть (Core)

*По охватываемой территории*

Сети масштаба:

- здания, кампуса, города, района / междугородная / международная



# Систематика сетей связи (4)

*По виду предоставляемых услуг связи*

Телефонные

Телевизионные

Мультимедийные

Передача данных

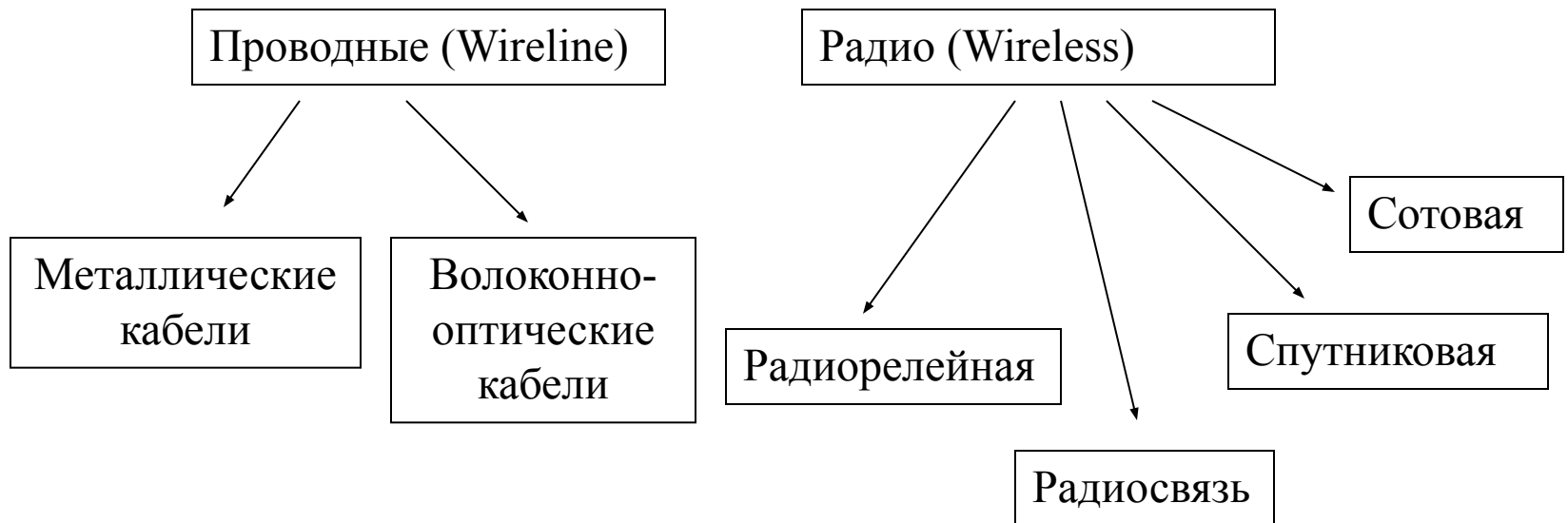
Телематические (передачи сообщений, доступ к базам информации, факсимильные...)

С интеграцией служб (интегрированного обслуживания)

Конвергентные услуги

# Систематика сетей связи (5)

*По виду используемой среды передачи:*



*По возможной мобильности пользователей:*

- Стационарные (Fixed)
- Мобильные (Mobile)
- Сотовые (Public Land Mobile)

# Использование диапазонов частот в СВЯЗИ

НАЗВАНИЕ	ДЛИНЫ ВОЛН	ЧАСТОТЫ	ПРИМЕНЕНИЕ
Длинные волны	1 км – 10 км	30 кГц – 300 кГц	Радиовещание
Средние волны	100 м – 1000 м	300 кГц – 3 МГц	Радиовещание
Короткие волны	10 м – 100 м	3 МГц – 30 МГц	Радиовещание, любительская связь
Метровые волны	1 м – 10 м	30 МГц – 300 МГц	Телевидение, радиовещание, любительская связь, пейджинг
Дециметровые волны	10 см – 100 см	0,3 ГГц – 3 ГГц	Телевидение, сотовая подвижная связь
Сантиметровые волны	1 см – 10 см	3 ГГц – 30 ГГц	Спутниковая связь
Инфракрасное излучение		$10^{12} - 10^{14}$ Гц	Оптическая связь
Видимый свет	400 нм – 800 нм		
Ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение	менее 400 нм		

# Стандартизация в связи

**Основная цель** – обеспечение «Сквозных» (end-to-end) услуг,  
независимо от

- поставщиков оборудования
- используемых технологий
- поколений оборудования

**Основной механизм** – совместимость оборудования/сетей

// **Совместимость** - комплексное свойство систем, характеризующее их способностью взаимодействовать при функционировании (ГОСТ 34.003)

# Стандартизация в связи (2)

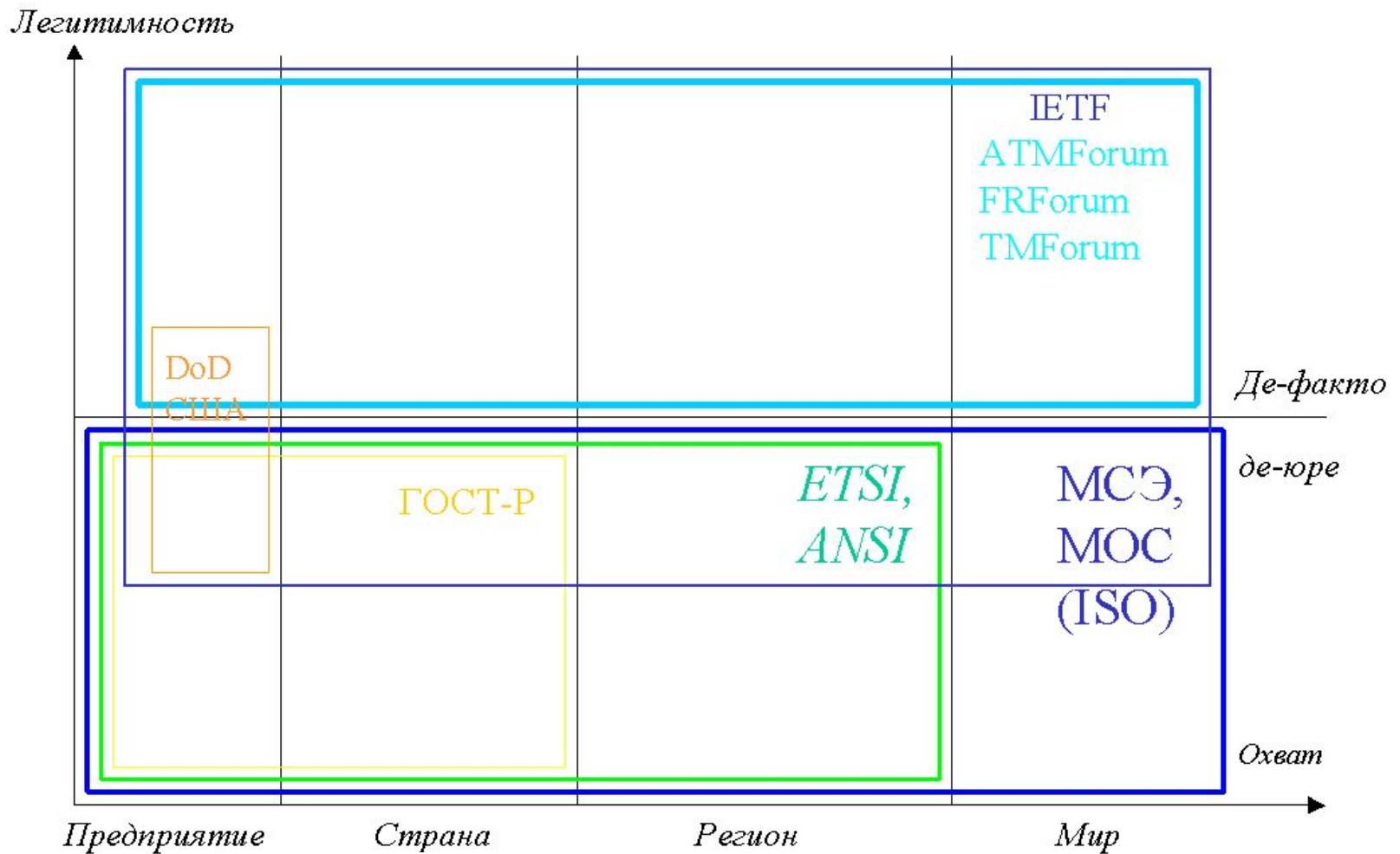
## *Что стандартизуется*

- основные понятия и термины
- номенклатура и спецификации услуг
- функциональность сетей и оборудования
- эталонные (reference) структуры сетей
- алгоритмы функционирования и взаимодействия
- спецификации устройств (функциональных блоков) и интерфейсов (функциональные, конструктивные, электрические, алгоритмические, информационные)
- средства формализованного описания (языки, диаграммы)

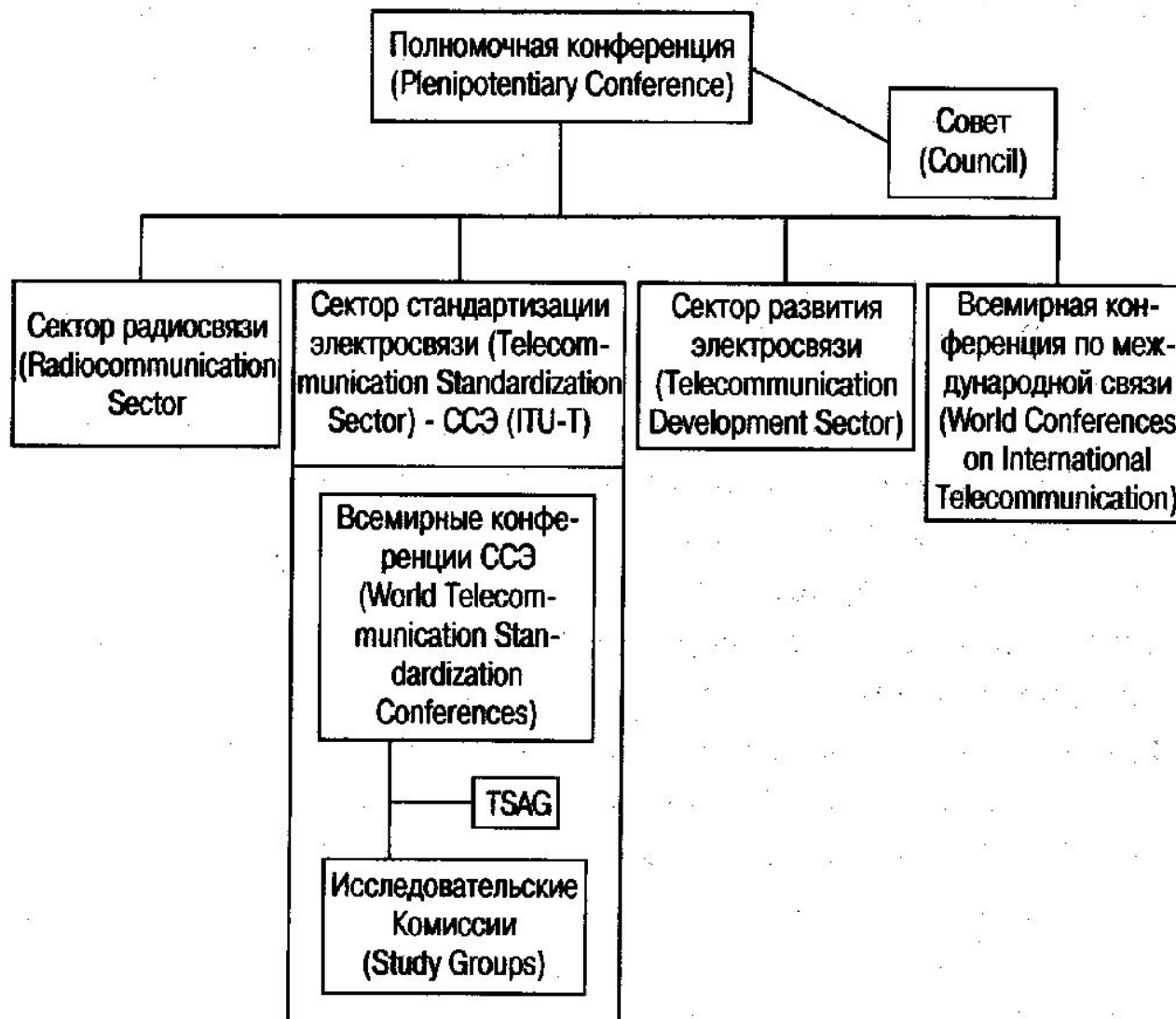
## *Что НЕ стандартизуется*

- реализация

# «Области» стандартизации связи



# Структура Международного союза электросвязи



# Исследовательские комиссии (Study groups) МСЭ-Т (2003 г.)

ИК2 – Технические аспекты предоставления услуг, работы сетей и характеристик

ИК3 – Принципы тарифов и учета

ИК4 – Управление сетями и техническое обслуживание

ИК11- Требования к сигнализации и протоколы

ИК12- Характеристики сетей/терминалов с точки зрения сквозной передачи информации

ИК13- Многопротокольные и IP-сети

ИК15- Оптические и иные транспортные сети

ИК16- Мультимедийные услуги, системы и терминалы

ИК17- Сети передачи данных и программное обеспечение телекоммуникационных систем

Спец.ИК- ИМТ-2000 и следующие поколения



# Серии Рекомендаций МСЭ-Т

A – Организация работы

B – Определения, символы, классификация

D – Тарификация

E – Услуги, управление услугами, качество

F – Нетелефонные услуги

G – Системы и среда передачи, цифровые системы и сети

H – Мультимедийные системы

I - Цифровая сеть с интеграцией служб

M- Управление сетью, техническое обслуживание

O – Требования к измерительному оборудованию

P – Качество передачи речи

Q – Коммутация и сигнализация

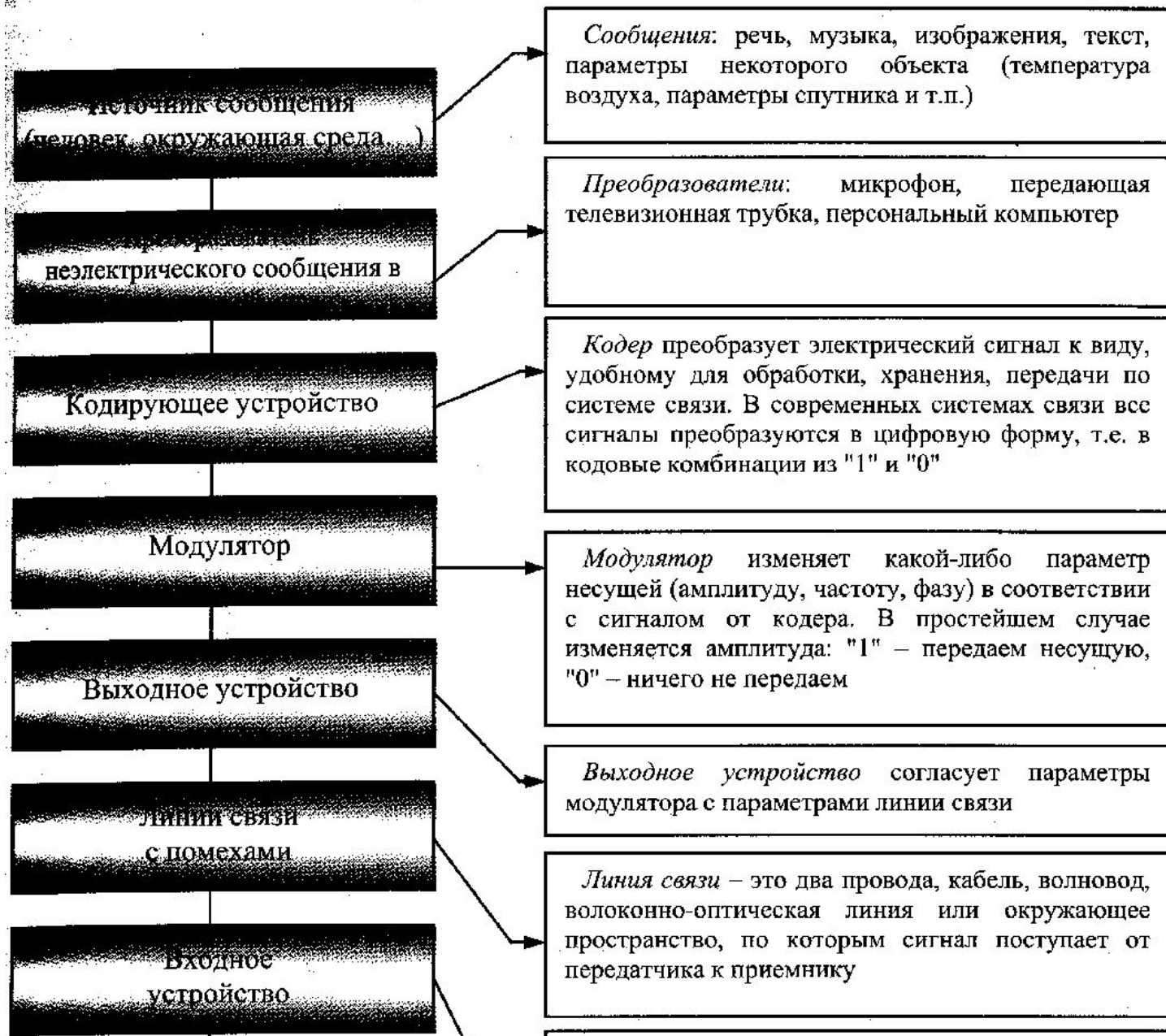
V – Обмен данными по телефонной сети

X – Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем

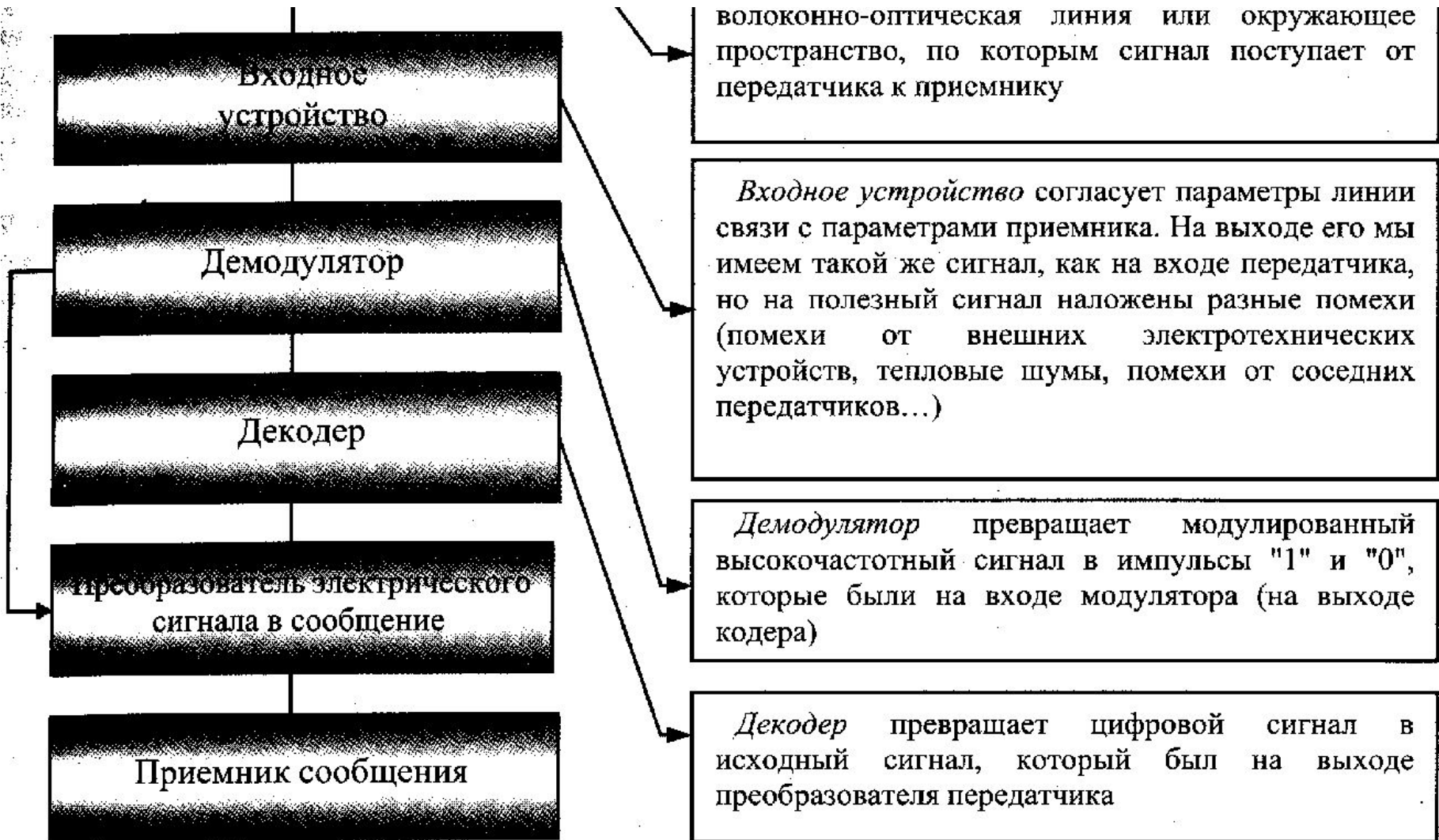
Y – Глобальная информационная инфраструктура и аспекты Интернет

Z – Языки программирования и основные аспекты ПО

# Структура канала передачи (1)



# Структура канала передачи (2)



# Сигналы и каналы

Измерение количества информации:

Пусть источник информации имеет алфавит

$$A = \{a_i \mid i = 1..n\}$$

и каждый символ  $a_i$  генерируется с вероятностью  $p_i$ .

Количество информации, содержащееся в символе  $a_i$ , оценивается величиной

$$I_i = \log 1/p_i$$

Обычно основание логарифма – 2, и единица измерения называется «бит» (bit – Binary digiT)

Среднее количество информации на символ

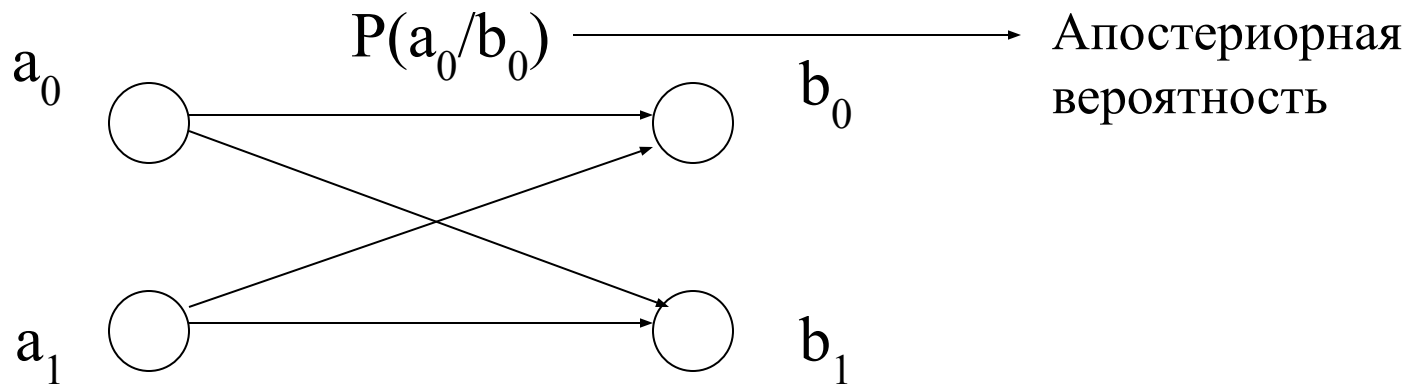
$$H = \sum I_i p_i$$

называется энтропией (источника)

# Сигналы и каналы (2)

## Информационная модель канала связи:

Для определения количества полученной информации необходима стохастическая модель канала



$$I(A, B) = H(A) - H(A/B)$$

$$\text{Где } H(A/B) = \sum P(b_k) \sum P(A_i/B_k) \log(P(A_i/B_k))$$

# Сигналы и каналы (3)

Некоторые фундаментальные закономерности:

1. Теорема отсчетов («Теорема Котельникова»)

Сигнал с ограниченным спектром  $F$  может быть полностью восстановлен по своим мгновенным значениям (выборкам), следующим с частотой  $2F$

2. Теорема Шеннона («формула Шеннона – Хартли»)

Ёмкость (максимальная пропускная способность) канала с шириной полосы  $F$  определяется выражением:

$$C = F \log (1 + P_c / P_n)$$

( $P_c$  – мощность сигнала

$P_n$  – мощность помехи)

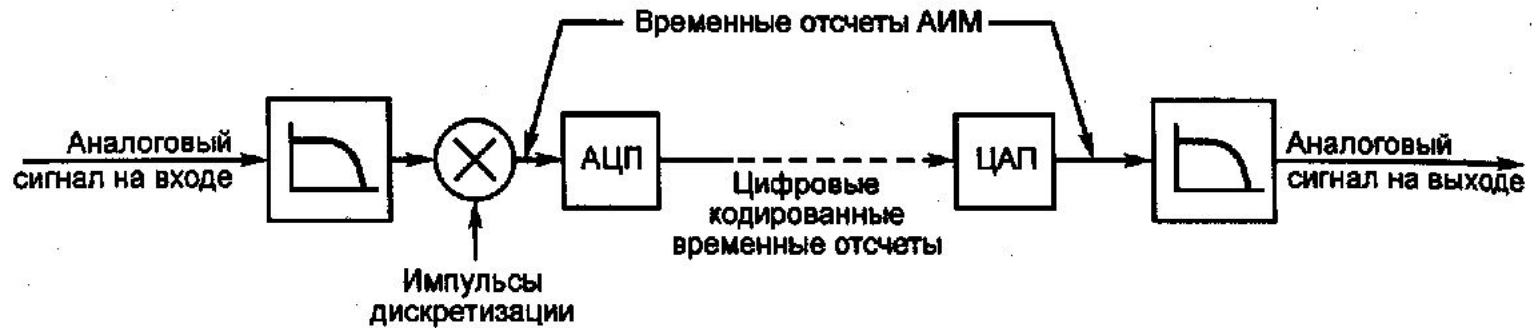
# Сигналы и каналы (4)

Некоторые фундаментальные закономерности:

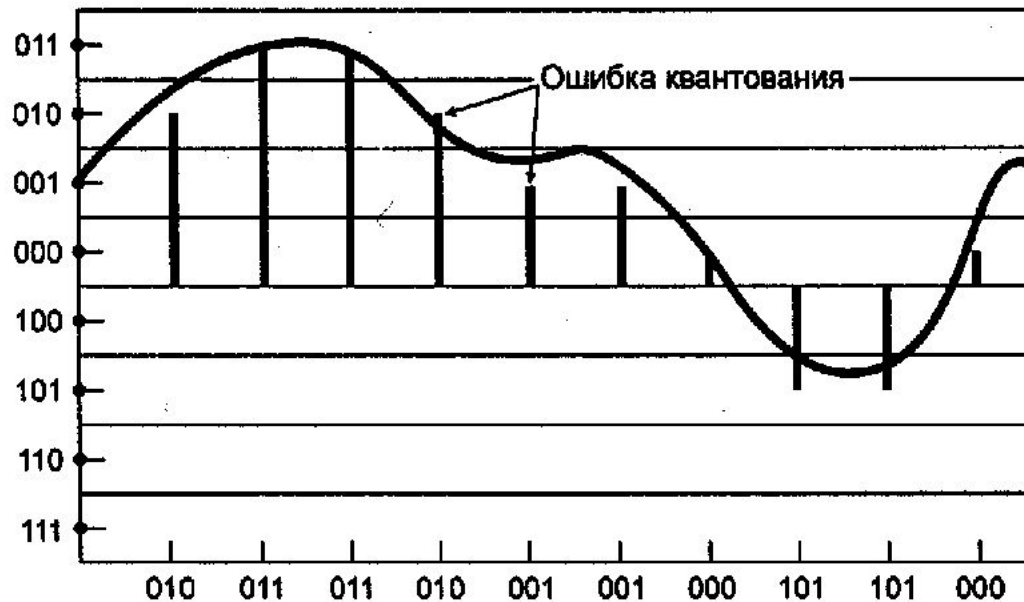
## 3. Теорема Шеннона («Теорема о кодировании источника»)

Если производительность источника информации меньше ёмкости канала, сообщения с выхода источника могут быть переданы по каналу и восстановлены на приёмном конце со сколь угодно малой вероятностью ошибки (...всегда существует способ кодирования источника, обеспечивающий сколь угодно малую вероятность ошибки).

# Оцифровка аналоговых сигналов



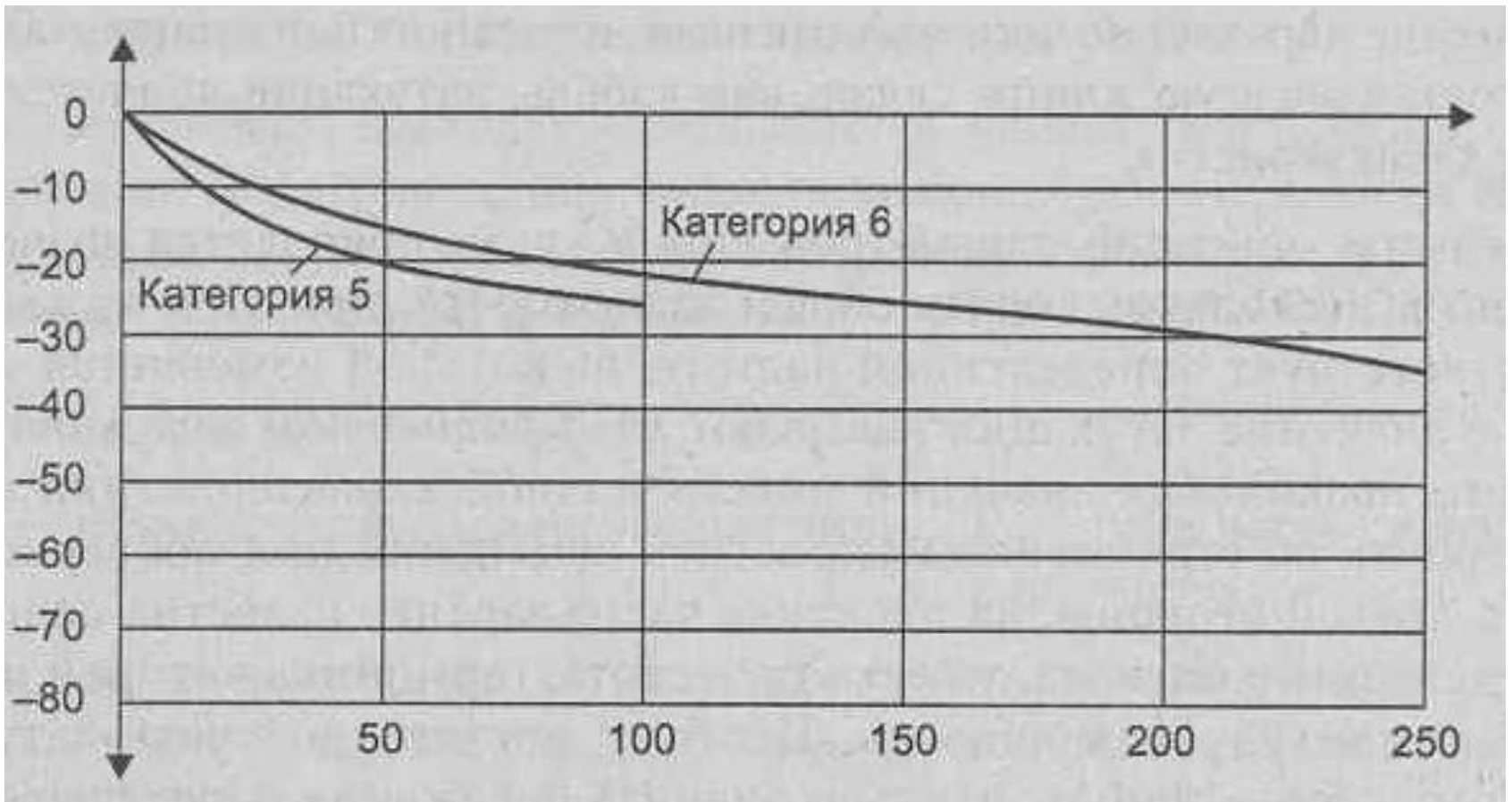
АИМ – амплитудно-импульсная модуляция





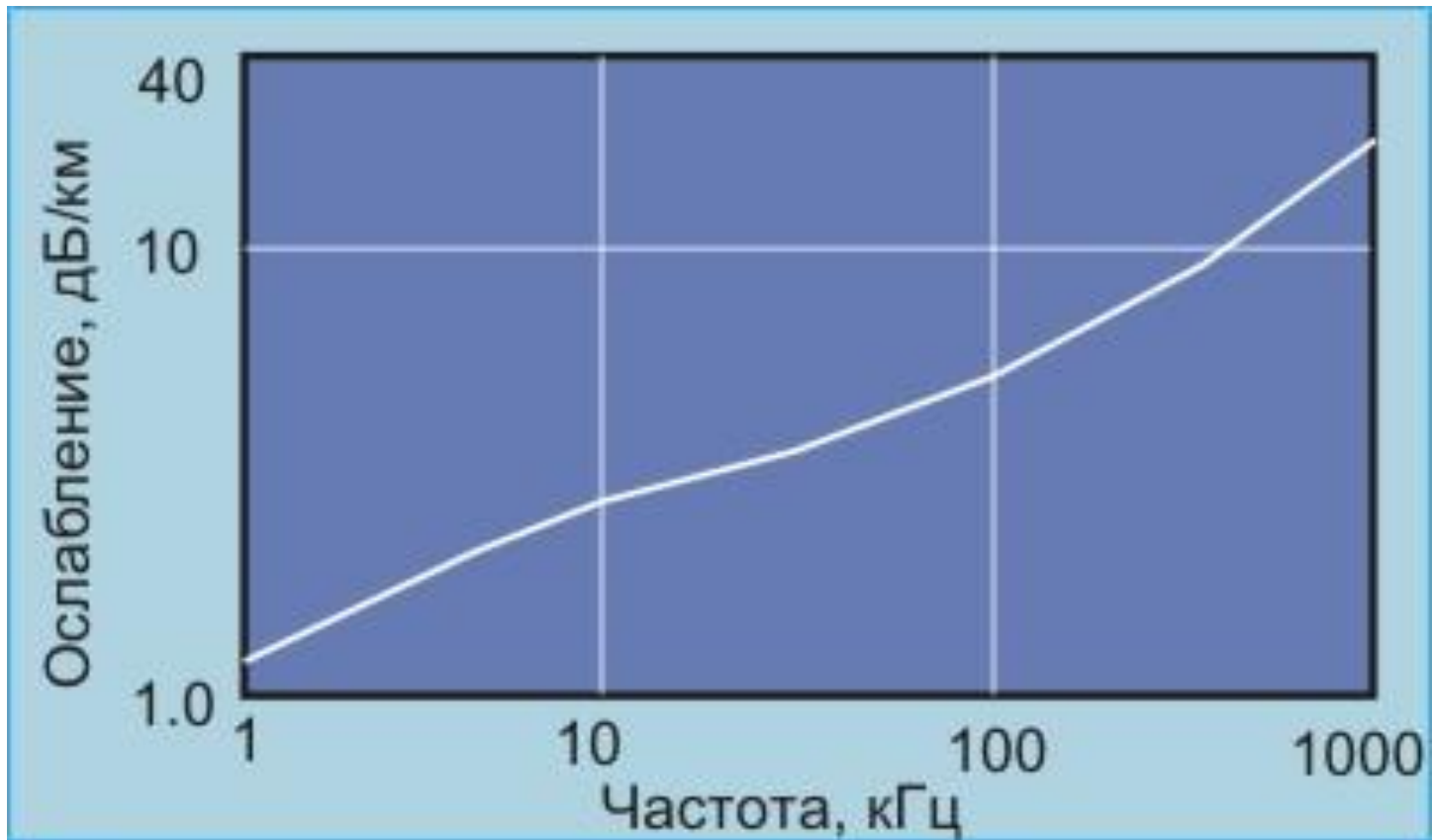
# Затухание симметричного кабеля

ДБ/100 м

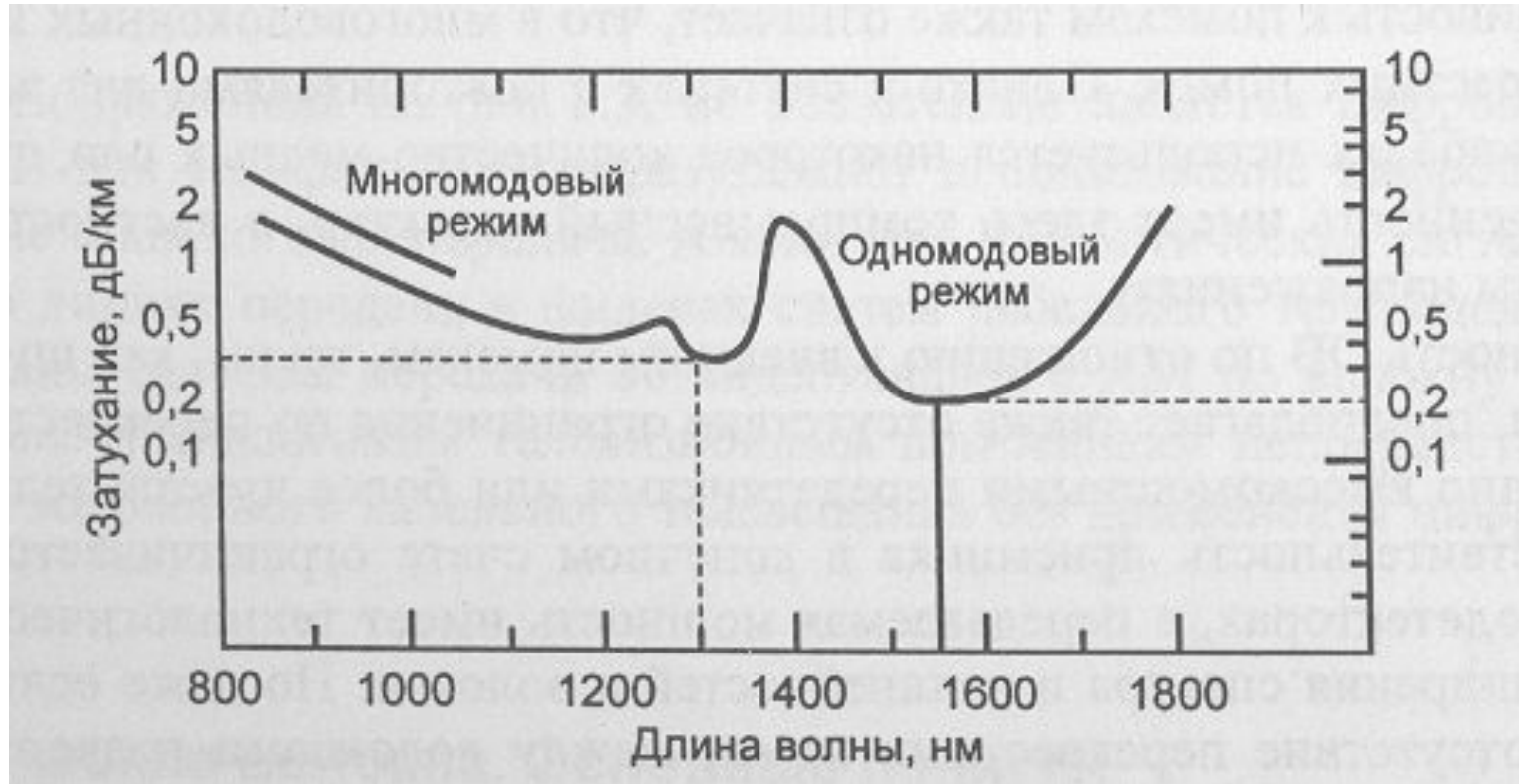


МГц

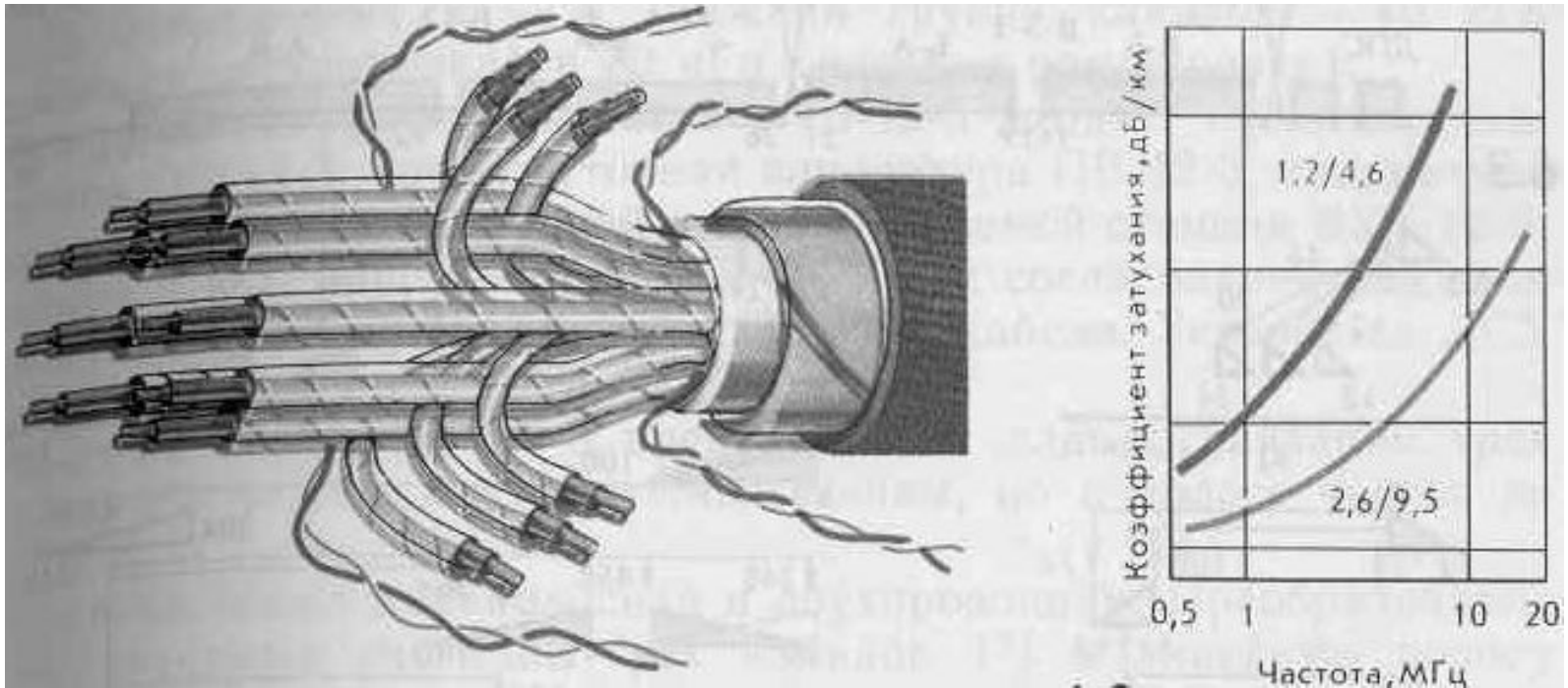
# Затухание симметричного кабеля



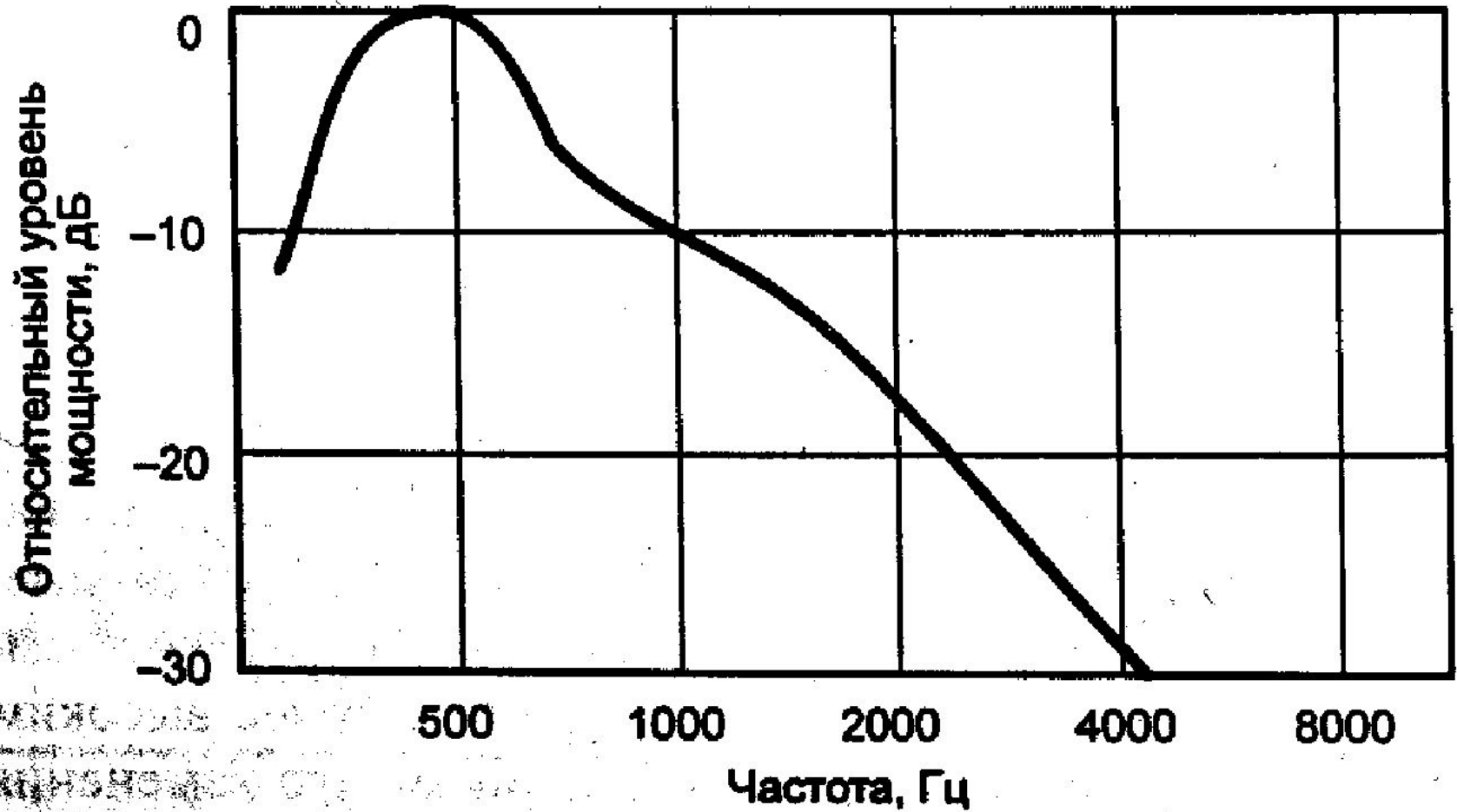
# Затухание ВОЛП



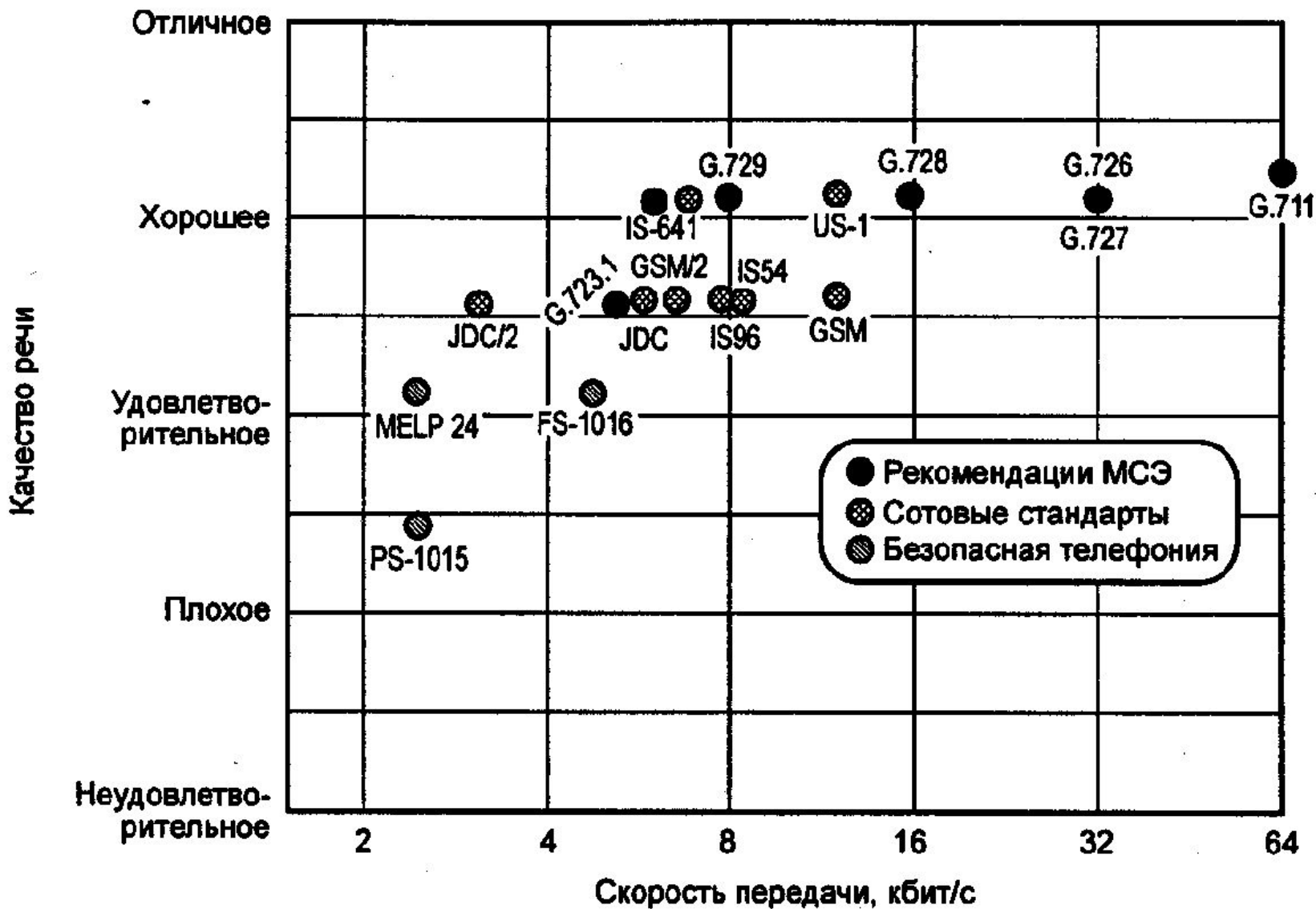
# Коаксиал и его затухание



# Спектр речи



# Кодирование речи и качество



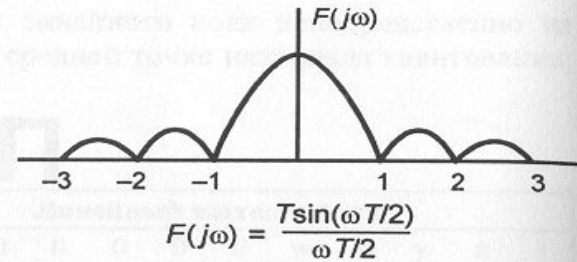
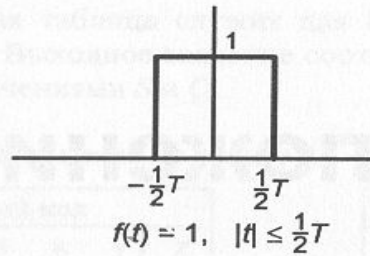
# Кодирование цифровых сигналов для передачи по линиям

Требования к кодированию:

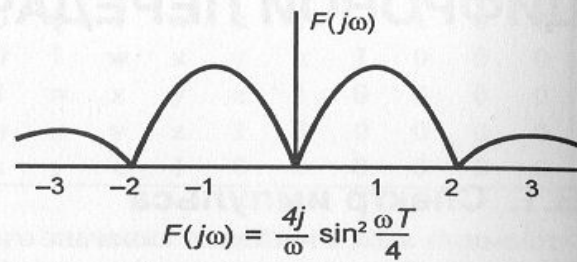
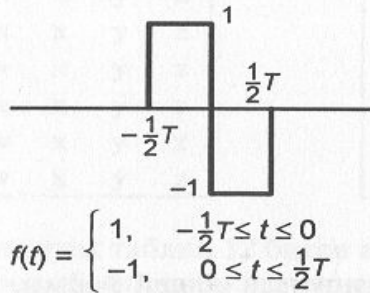
- Устойчивость к помехам
- Эффективное использование полосы канала
- Способность обеспечить синхронизацию битов
- Независимость от содержания передаваемых данных  
(прозрачность)

# Спектры импульсов

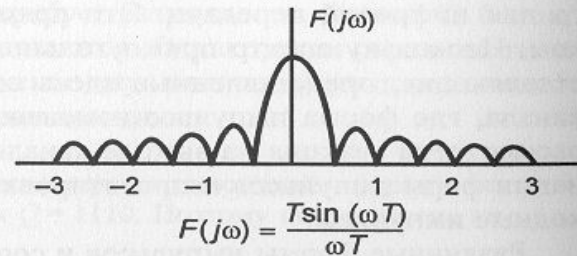
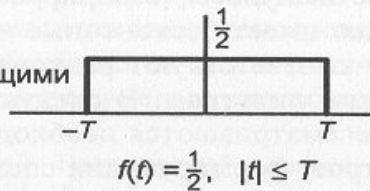
Код передачи  
NRZ



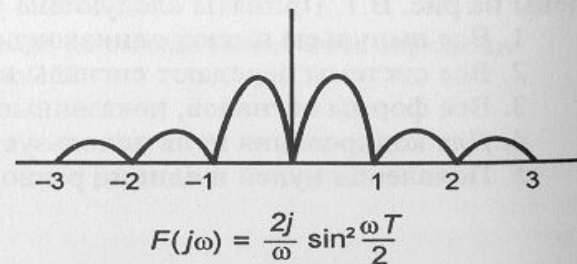
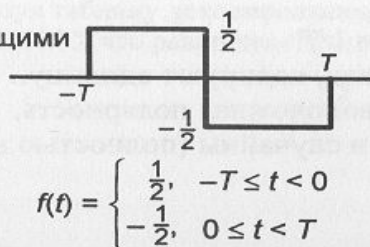
Цифровой  
бифазный  
код



Код  $1 + D$   
с коррелирующими  
уровнями



Код  $1 - D$   
с коррелирующими  
уровнями





# Кодирование цифровых сигналов

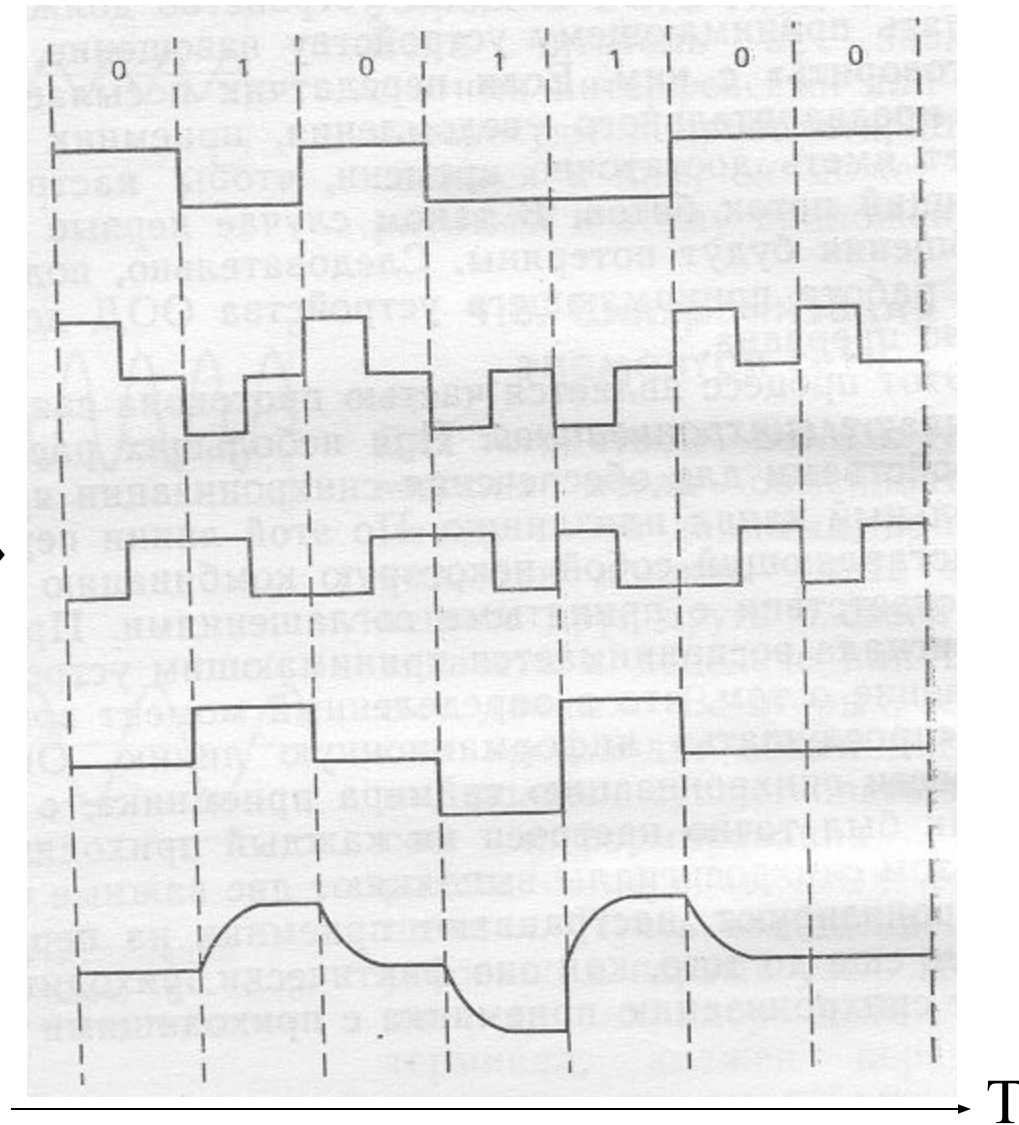
NRZ

RZ

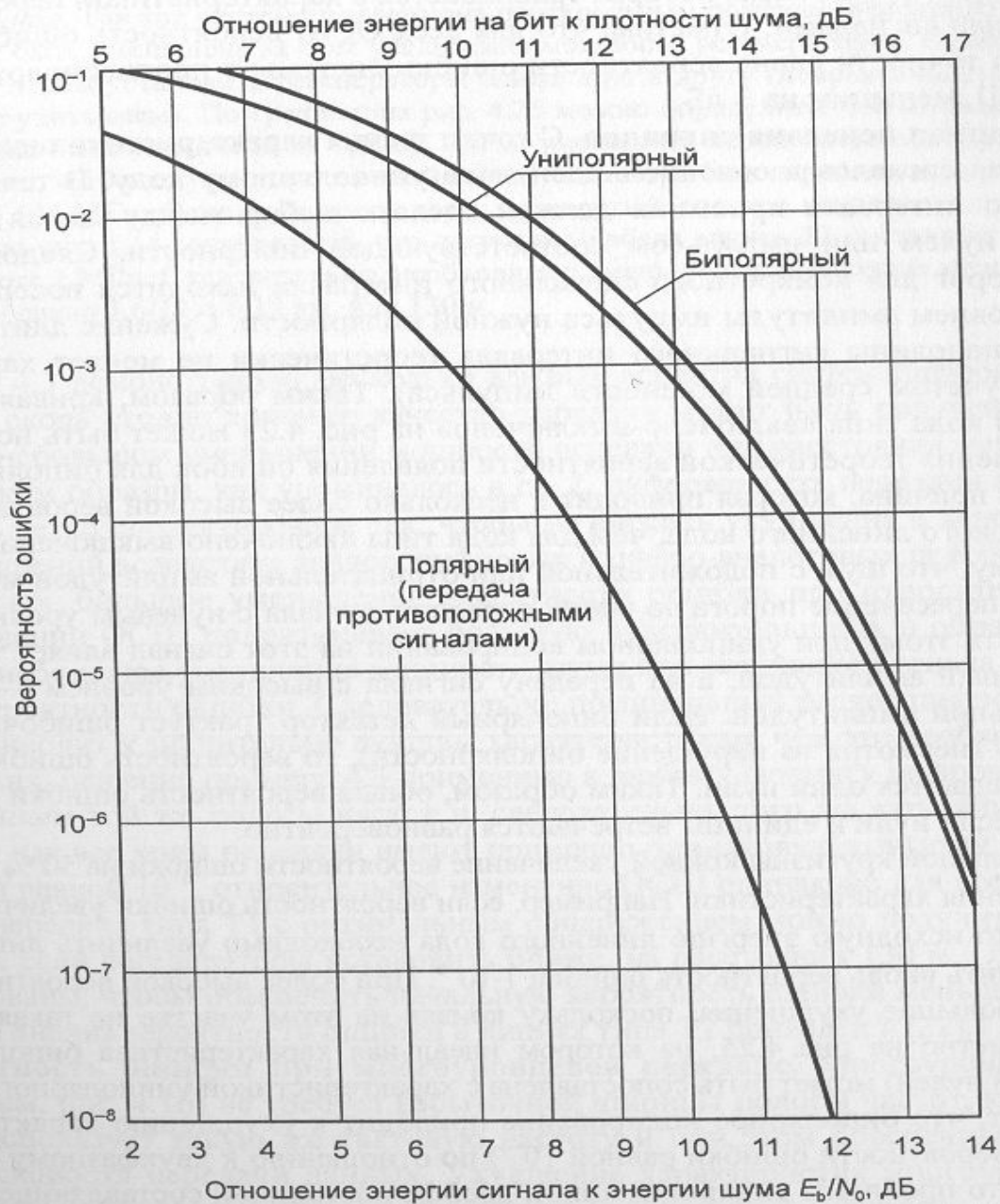
«Манчестер»

AMI

(Реальный  
сигнал)

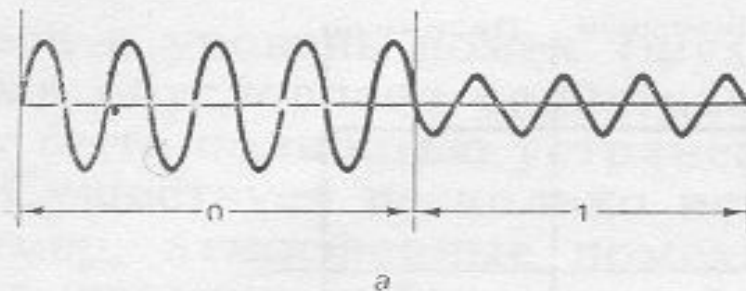


# Качество цифровой передачи

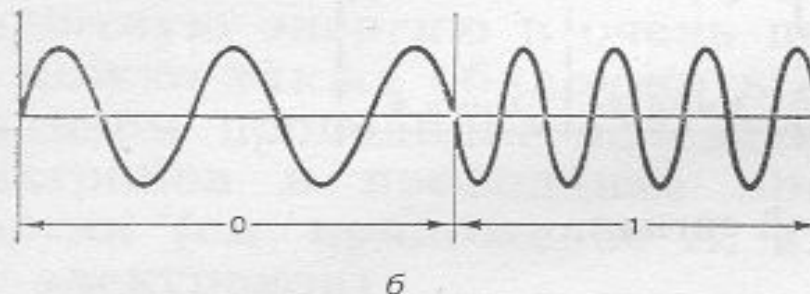


# Виды цифровой модуляции

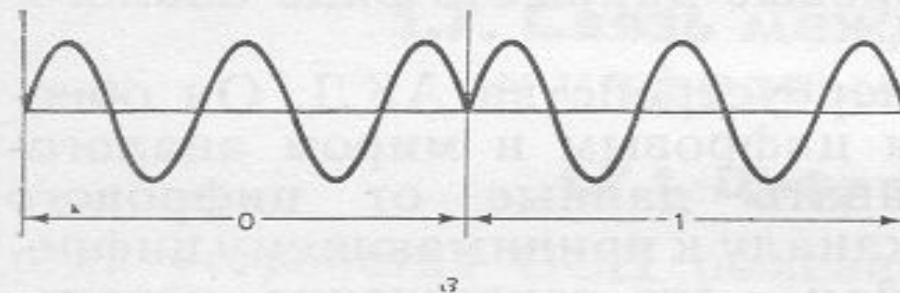
Амплитудная



Частотная

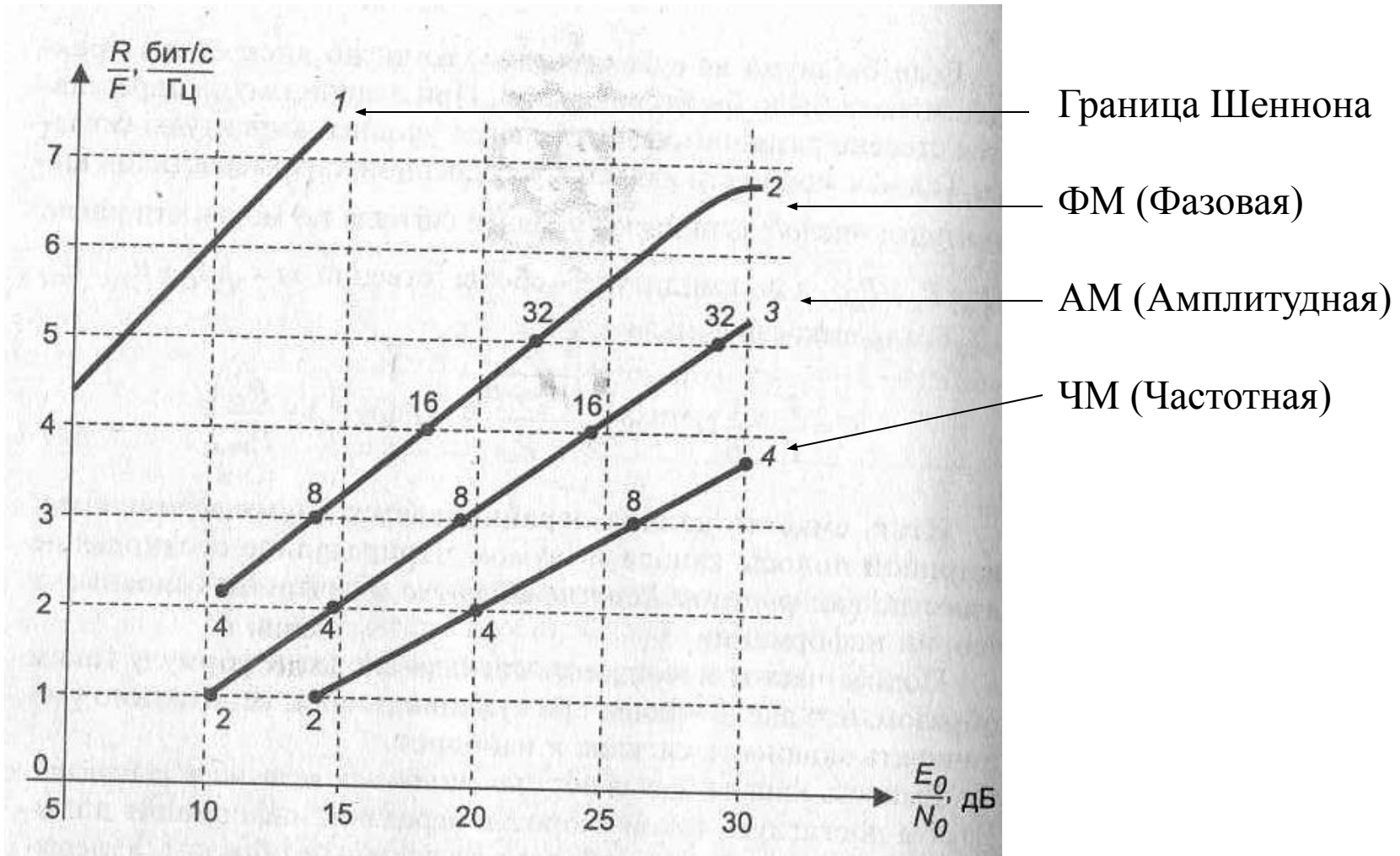


Фазовая

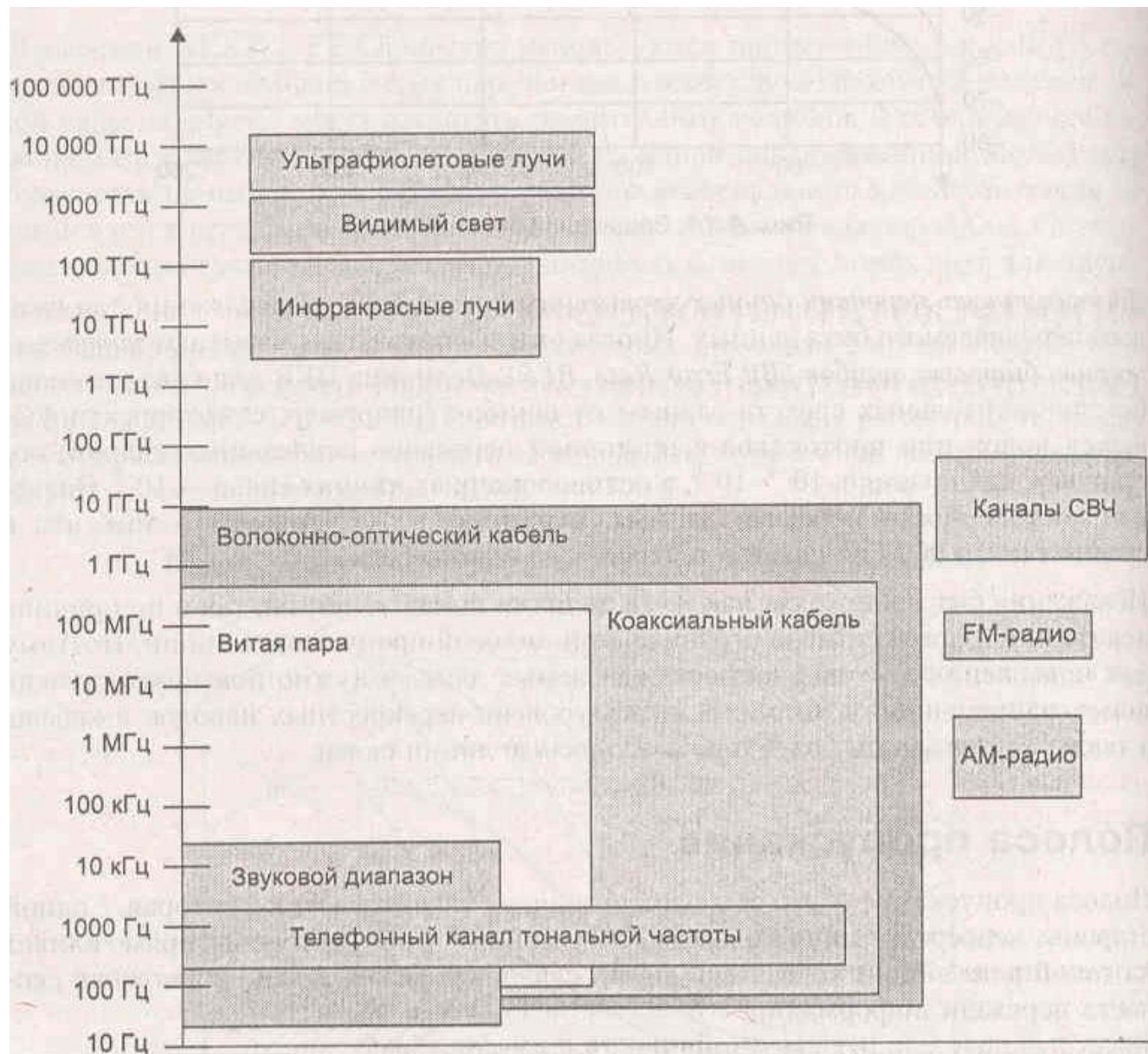


T

# Эффективность различных видов модуляции (по использованию спектра)



# Кабели и диапазоны



# Требования к пропускной способности для разных видов сервиса

