

# Вопросы для подготовки к экзамену по ТСиТ

Подготовил: Петухов Виктор, гр. 2512

О неточностях: [i@victor.am](mailto:i@victor.am)

v0.3

## Оглавление

Последние изменения.....	2
Вопрос №1. Сигналы .....	3
Вопрос №2. Кодирование источника .....	6
Вопрос №3. Кодирование канала .....	10
Вопрос №4. Модуляция .....	13
Вопрос №5. Системы распределения нагрузки.....	17
Вопрос №6. Характеристики сетей.....	21
Вопрос №7. Алгоритмы маршрутизации .....	23
Вопрос №8. Связь РФ .....	25
Вопрос №9. Технологии построения LAN и WAN .....	28
Вопрос №10. Технологии построения LAN (Ethernet) .....	31
Вопрос №11. Принципы цифровой иерархии .....	34
Вопрос №12. Цифровые сети с интеграцией служб .....	37
Вопрос №13. Технологии транспортных сетей .....	42
Вопрос №14. Глобальные сетевые технологии.....	48
Вопрос №15. Сети абонентского доступа .....	53
Вопрос №16. Сотовые сети подвижной связи .....	59
Вопрос №17. Подвижная персональная спутниковая связь .....	63

## Последние изменения

- Добавлены примеры построения сжимающих и помехоустойчивых кодов
- Чуть подробнее о типах сигналов и их сравнении
- 5-ый вопрос:  $1\% = 0.1\%$  ( $0.001$  — это доля единицы)
- Добавлена структурированная классификация кабелей (находится в 15-м вопросе)
- Более подробно расписаны принципы маршрутизации IP и MPLS протоколов
- Опечатка в выводе 3-го вопроса: сравниваются не блочные и циклические, а блочные и сверточные
- Исправлены другие опечатки
- Добавлены методы расчета систем РИ

## Вопрос №1. Сигналы

Осуществить сравнение сигналов используемых в телекоммуникационных системах (классификация сигналов; временное и частотное описание сигналов; разложение сигналов через системы функций; сравнение известных дискретных сигналов по приведенным параметрам).

**Сигнал** — физический процесс, несущий передаваемое сообщение (изменяемая физическая величина).

**Сигналы:** *первичные* (непосредственное преобразование сообщения в э/м колебание) и *вторичные* (запись сообщения на высокочастотное колебание посредством модуляции (изменения во времени пар-ов колебания в соотв. с законом изменения передаваемого сообщения) первичным сигналом).

**Параметры сигналов:**

- Длительность  $T_c$
- Динамический диапазон  $D_c = 10 \lg \frac{P_{c \max}}{P_{c \min}}$  [дБ]
- Ширина спектра  $\Delta F_c$  — диапазон частот, где сосредоточена энергия сигнала
- Объем сигнала:  $V_c = T_c * D_c * \Delta F_c$  — чем больше, тем больше информации можно вложить, но труднее передать такой сигнал по каналу связи

**Классификация сигналов**

- По форме:
  - Простые (представимые мат. формулой)
  - Сложные (представимые рядом: сумма простых сигналов)
- По информативности:
  - Детерминированные (полностью предопределенные во времени, можно описать детерминированной функцией)
    - Периодические (это некая абстракция, информацию с помощью периодических сигналов передать нельзя)
    - Не периодические (используются для передачи информации)
  - Случайные (изменение которых во времени точно предсказать невозможно)
- По хар-кам:
  - Непрерывные (описываемые непрерывной мат. функцией времени)
  - Дискретные (представленные в виде значений, взятых в дискретные моменты времени)
  - Цифровые (дискретный сигнал, подвергнутый квантованию, результат — формирование целых чисел, соотв. приближенному значению сигнала на заданном промежутке времени)
- По физической природе:
  - Электрические,
  - Электромагнитные
  - Оптические
  - Акустические

В электросвязи применяются: гармонические сигналы ( $S(t) = A_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ ), импульсные (сигналы, существующие лишь в опр. промежутки времени) и т. п.

## Описание сигналов

- Временное: выражение сигнала как функции времени
- Частотное (спектральное): выражение сигнала как суммы гармонических или комплексных экспоненциальных составляющих различных частот
  - Амплитудный спектр
  - Фазовый спектр

Частотное описание сигнала формируется путем применения преобразования Фурье к сигналам  $S(t)$ .

## Разложение сигналов через системы функций

Разложение — представление сложного сигнала простыми.

$S(t) = \sum_{k=0}^n C_k \varphi_k(t)$ , где  $\{C_k\}$  — амплитудный спектр,  $\{\varphi_k(t)\}$  — базис разложения.

Чтобы разложение было выполнимо система ф-ий  $\{\varphi_k(t)\}$  должна быть

ортонормированной (ортогональной и нормированной):  $\int_{t_1}^{t_2} \varphi_i(t) \varphi_k(t) dt = \begin{cases} 1, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases}$

Чаще всего в качестве  $\varphi_k(t)$  выбирают гармонические колебания (ряд Фурье). Также исп. ряд Котельникова (см. ниже), степенные ряды, функции Уолша, полиномы Чебышева, Лагерра и Эрмита.

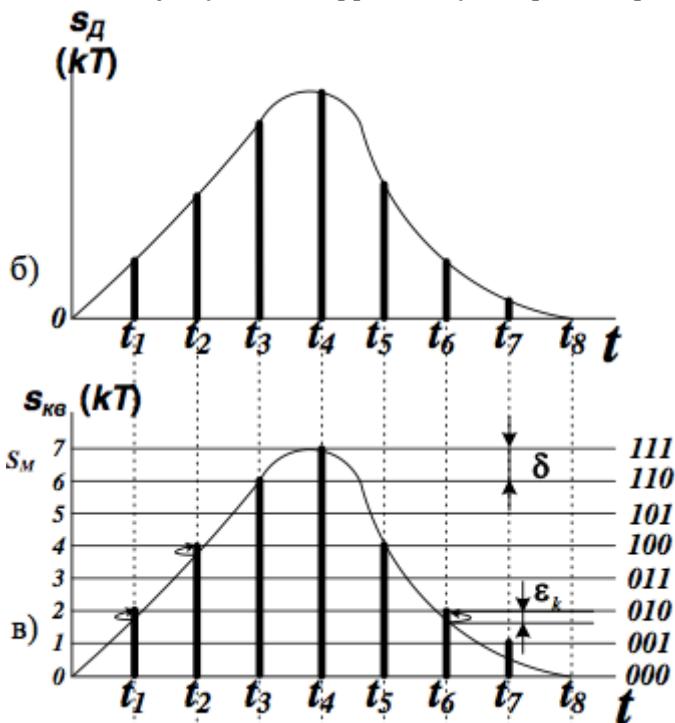
## Теорема Котельникова

Непрерывный сигнал с ограниченным спектром можно восстановить по его отсчетам с интервалами  $\Delta t = \frac{1}{2F}$  ( $F$  — верхняя частота спектра).

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} S\left(\frac{k}{2F}\right) \frac{\sin 2\pi F\left(t - \frac{k}{2F}\right)}{2\pi F\left(t - \frac{k}{2F}\right)}, \text{ где } \frac{\sin 2\pi F\left(t - \frac{k}{2F}\right)}{2\pi F\left(t - \frac{k}{2F}\right)} \text{ — ф-ия отчетов}$$

## Сравнение дискретных сигналов

Дискретные сигналы: цифровые (дискретизированные не только по времени, но и по амплитуде) и не цифровые (дискретизированные только по времени).



Цифровые сигналы можно классифицировать следующим образом:

- По полярности: униполярные (пос-ти 0 и 1) и биполярные (пос-ти -1 и 1)

- По используемому коду: абсолютный и относительный (связует с соседними состояниями:  $O_{i-1} \oplus A_i$ )
- По числу импульсов: биимпульсные ( $0 \rightarrow 01$ ,  $1 \rightarrow 10$ ) и квазитроичные

## Вопрос №2. Кодирование источника

Осуществить сравнение методов согласования источника с каналом (место устройства на обобщенной структуре; принципы количественного определения информации; понятие энтропии источника сообщений; алгоритмы построения заданных сжимающих кодов; варианты построения для выбранного алфавита источника; среднее число двоичных символов для выбранных методов, сравнение методов согласования источника по приведенным параметрам).

**Согласование источника с каналом** (сжатие источника) — процесс кодирования с целью уменьшения избыточности источника сообщений.

### **Место устройства на обобщенной структуре**

Источник → [Кодер источника](#) → Кодер канала → Модулятор → Среда → ...

*Задачи кодирования при передаче сообщений:*

- Согласование ИС с каналом по объемам алфавитов (решается КИ)
- Повышение скорости засчет устранения избыточности (решается КИ)
- Повышение помехоустойчивости (решается КК)

### **Количественное определение информации**

$p(x_i)$  — вероятность появления сообщения, тогда количество информации  $I(x_i) = \log_b \left( \frac{1}{p(x_i)} \right) = -\log_b(p(x_i))$ ,  $b$  определяет единицы измерения информации (при  $b = 2$  имеем биты  $\Rightarrow 1$  бит — кол-во информации, которое передается единичным символом с  $p(x_i) = 0.5$ ).

Количество информации из  $n$  символов:  $I(x, n) = -n \sum_{i=1}^m p(x_i) * \log_2(p(x_i))$ ,  $i$  — номер символа в алфавите,  $p(x_i)$  — вероятность его появления.

### **Энтропия источника сообщений**

Это среднее кол-во информации, приходящееся на один элемент сообщения при общем числе эл-ов  $n$  и числе символов алфавита  $m$ :  $H(x) = \frac{I(x, n)}{n} = -\sum_{i=1}^m p(x_i) * \log_2(p(x_i))$  [бит/сообщение]

Чем равновероятнее символы, тем энтропия больше.

### **Алгоритмы построения сжимающих кодов**

Кодирование: *равномерное* (блоковое; не оптимальность, но влияние помехи не распространяется на соседние элементы) и *не равномерное* (обратные свойства).

**Условие префиксности** — условие, которому должен удовлетворять не равномерный код (однозначное декодирование; более короткое слово не должно являться началом более длинного)

Двоичные коды:

- Неизбыточные
  - o Равномерные
    - Простые
    - Отраженные
    - Двоично-десятичные
  - o Неравномерные
    - Шеннона-Фано
    - Хаффмана
- Избыточные

1) Кодирование методом Шеннона-Фано

- Все символы располагаем в порядке убывания вероятностей
- Делим на две группы, чтобы суммарные вер-ти каждого были примерно равны
- Верхнюю группу кодируем «1», нижнюю — «0»
- Продолжаем, пока не останется группа из одного элемента
- Справа для каждого символа записываем код (идем слева направо)

2) Кодирование методом Хаффмена

- Все символы располагаем в порядке убывания вероятностей
- Объединяем два символа с наим. вер-ми, вер-ти суммируем
- Ветви эл-та с наиб. вероятностью присваиваем «1», к наим. — «0»
- Продолжаем, пока не останется один блок
- Справа для каждого символа записываем код (идем справа налево)

**Варианты построения для выбранного алфавита источника, энтропия и ср. кол-во символов**

2) Код Хаффмена

Эл	Вер	Деление	Код-ть
$X_6$	0,2	0	00
$X_3$	0,17	0,33 1	111
$X_4$	0,16	0,59 1	110
$X_4$	0,14	0,26 0	101
$X_5$	0,12	0	100
$X_7$	0,09	0,02 1	010
$X_2$	0,08	0,12 1	0111
$X_8$	0,04	0	0110

$$\begin{aligned}
 H_{sp} &= 0,2 \cdot 2 + 0,17 \cdot 3 \cdot 0,16 \cdot 3 + 0,14 \cdot 3 + 0,12 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + \\
 &0,08 \cdot 4 + 0,04 \cdot 4 = 0,4 + 0,51 + 0,48 + 0,42 + 0,36 + 0,27 + \\
 &0,32 + 0,16 = 2,92
 \end{aligned}$$

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

# ① Код Шеннона - Фано

$X_6$	0,2	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\}$	11
$X_3$	0,17		101
$X_1$	0,16		100
$X_4$	0,14		011
$X_5$	0,12		010 <span style="color:red">X</span>
$X_7$	0,09		001
$X_2$	0,08		0001
$X_8$	0,04		0000

$$H(X) = - \sum_{i=1}^8 p(x_i) \cdot \log_2 p(x_i) = - 0,2 \cdot \log_2 0,2 - 0,17 \cdot \log_2 0,17 -$$

$$- 0,16 \cdot \log_2 0,16 - 0,14 \cdot \log_2 0,14 - 0,12 \cdot \log_2 0,12 - 0,09 \cdot \log_2 0,09 -$$

$$- 0,08 \cdot \log_2 0,08 - 0,04 \cdot \log_2 0,04 = 0,46 + 0,43 + 0,42 + 0,4 +$$

$$+ 0,37 + 0,31 + 0,29 + 0,19 = \underline{\underline{2,87}} \quad \text{X}$$

$$n_{cp} = \sum_{i=1}^8 n_i \cdot p(x_i) = 2 \cdot 0,2 + 0,17 \cdot 3 + 0,16 \cdot 3 + 0,14 \cdot 3 + 0,12 \cdot 3 +$$

$$+ 0,09 \cdot 3 + 0,08 \cdot 4 + 0,04 \cdot 4 = 0,4 + 0,51 + 0,46 + 0,42 + 0,36 +$$

$$+ 0,27 + 0,32 + 0,16 = \underline{\underline{2,92}} \quad \text{X}$$

(в лекциях также есть примеры с меньшим кол-вом символов)

## Среднее число двоичных символов

$$n_{cp} = \sum_{i=1}^m p(x_i) * n_i, m — \text{кол-во символов алфавита}$$

Чем меньше  $n_{cp}$  в сравнении с энтропией, тем более оптимальным считается код.

В предыдущем пункте  $n_{cp}$  рассчитаны.

## Сравнение методов согласования источника (сжатия источника)

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

Методы сжатия: раномерные коды и не равномерные (Шеннона-Фано и Хаффмена)

По сравнению с равномерными кодами, неравномерные позволяют затратить в среднем меньшее число двоичных символов на сообщение, но с другой стороны, они менее помехоустойчивы (ошибка будет распространяться и на соседние элементы).

В обоих методах Шеннона-Фано и Хаффмена код, соответствующий символу, выбирается по размеру в соответствии с вероятностью появления этого символа. Т. о. на выходе образуется оптимальный код (в отличие от равномерного, который всегда не оптимален). На практике код Хаффмена является более экономичным.

## Вопрос №3. Кодирование канала

Осуществить сравнение методов помехоустойчивого кодирования (место устройства на обобщенной структуре; классификация и общие принципы помехоустойчивого кодирования; обнаруживающая и исправляющая способность кодов; физическая сущность процессов кодирования и декодирования для заданных методов; сравнение заданных методов помехоустойчивого кодирования).

**Помехоустойчивое (избыточное) кодирование** — кодирование, применяемое для обнаружения и/или исправления ошибок, возникающих при передаче.

### **Место устройства на обобщенной структуре**

Источник → Кодер источника → Кодер канала → Модулятор → Среда → ...

*Задачи кодирования при передаче сообщений:*

- Согласование ИС с каналом по объемам алфавитов (решается КИ)
- Повышение скорости засчет устранения избыточности (решается КИ)
- Повышение помехоустойчивости (решается КК)

### **Классификация и общие принципы**

Двоичные коды:

- Неизбыточные
- Избыточные
  - Равномерные
    - Блочные
      - Разделимые
      - Систематические
        - Циклические
          - Простейший
          - Хэмминга
          - Боуза-Чоудхури-Хоквингема
          - Рида-Соломона
        - Не систематические
          - Неразделимые
      - Непрерывные
        - Цепные
        - Сверточные
    - Неравномерные

*Общий принцип:* все кодовые комбинации делятся на разрешенные и запрещенные (известны как на приемной, так и на передающей стороне), в канал передаются только разрешенные.

*Коды с обнаружением ошибок* — коды, которые позволяют только определить наличие ошибки, но не указывают на разряд (принцип: если на входе будет принята запрещенная кодовая комбинация, то при передаче помехи спровоцировали ошибку).

*Коды с исправлением ошибок* — коды, указывающие номер искаженной позиции (принцип: все множество кодовых комбинаций разбивается на подмножества, каждое из них соотв. одной разрешенной кодовой комбинации; если кодовая комбинация переходит в другое подмножество — произошла ошибка).

### **Обнаруживающая и исправляющая способность кодов**

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

Для обнаружения одной ошибки, кодовые комбинации, передаваемые в канал, должны отличаться не менее, чем двумя разрядами, а для исправления одной ошибки — не менее, чем тремя.

Это различие называется **кодовым (Хэмминговым) расстоянием**:  $d(a, b) = \sum_{i=0}^n a_i \oplus b_i$

В общем случае для обнаружения  $s$  ошибок, должно быть  $d(a, b) = s + 1$ ; для исправления  $t$  ошибок, должно быть  $d(a, b) = 2t + 1$ ; для исправления  $t$  и обнаружения  $s$  ошибок, должно быть  $d(a, b) = 2t + s + 1$

### Физическая сущность кодирования и декодирования

- Блочные коды —  $(n, k)$  коды ( $n$  — кол-во элеметов,  $k$  — кол-во информационных символов)

Метод задания таких кодов — матрица  $[n \times k]$  (т. н. *порождающая матрица* —  $G_{n \times k}$ ). Она может быть преобразована к виду  $G_{n \times k} = [I_{k \times k} \ h_{r \times k}]$ .

$I_{k \times k}$  — единичная матрица,  $r = n - k$  — кол-во проверочных символов.

*Сущность кодирования* — перемножение исходной комбинации на порождающую матрицу. Результат: исходная комбинация + проверочные символы (получаются путем суммирования по модулю два соотв. разрядов исходной комбинации — всех разрядов, кроме того, которому в единичной матрице соотв. «1»)

*Сущность декодирования* — вычисление синдрома путем произведения принятого кодового слова на транспонированную проверочную матрицу (синдром «0» — ошибки нет, не «0» — ошибка есть), определение вектора ошибок (каждому синдрому соотв. вектор ошибок — см. лекции), исправление ошибки (суммирование по модулю два принятого кодового слова с вектором ошибок)

*Конкретные алгоритмы*: кодирование и декодирование кодом Хэмминга (код  $(7, 4)$ ):

- Циклические коды

*Сущность кодирования* — преобразование исходной пос-ти в многочлен (номер символа соотв. степени  $x$ , а его значение коэффициенту перед  $x^n$ ), умножение на  $x^r$  и деление на порождающий полином (многочлен, который делится только на себя и на единицу). Результат — проверочный полином, который в дальнейшем передается в канал вместе с исходной пос-тью.

*Сущность декодирования* — деление принятой комбинации на порождающий полином (остатка нет — нет ошибок, остаток есть — есть ошибка), подсчет веса  $\omega$  (кол-ва единиц) остатка:  $\omega \leq t \Rightarrow$  сложение принятой комбинации с остатком (результат — исправленная комбинация),  $\omega > t \Rightarrow$  циклический сдвиг слева на один символ (снова деление на порождающий полином, проверка веса остатка и т. д.)

- Сверточные коды

*Сущность кодирования* — комбинация формируется путем прохождения исходных символов через кодирующее устройство: каждый новый символ формируется с помощью рекуррентного соотношения из  $K$  символов, поступивших в текущий и предыдущие моменты времени.  $K$  — длина кодового ограничения (макс. кол-во символов, на которые влияет текущий символ).

*Сущность декодирования* — исп. два способа: с вычислением проверочной пос-ти (аналогично блочным кодам) и по принципу максимума правдоподобия (приятая пос-ть сравнивается с возможными информационными и выбирается та, которая в меньшем кол-ве разрядов отличается от принятой)

*Конкретные алгоритмы:* алгоритм кодирования сверточного кода, алгоритм Витерби (декодирование)

### **Сравнение методов помехоустойчивого кодирования**

Все методы основаны на введении избыточности в исходную комбинацию, в канал передаются только некоторые (разрешенные) кодовые комбинации.

*Блочные коды* используют порождающие матрицы или многочлены и засчет применения различных операций над ними и принятыми пос-ми исправляют ошибки на приеме (при этом, чем больше избыточность, тем большее кол-во ошибок можно исправить).

*Сверточные коды* реализуются иначе: они представляют из себя рекуррентный код (каждый символ зависит от некоторого кол-ва предыдущих), который на приеме анализируется, как совокупность “путей”, пройденных кодером, и производится выбор наиболее вероятного “пути”.

## Вопрос №4. Модуляция

Осуществить сравнение методов дискретной модуляции (место устройства на обобщенной структуре; физическая сущность методов; временные и спектральные характеристики методов; принципы оценки помехоустойчивости методов дискретной модуляции; оценка помехоустойчивости заданных методов; сравнение методов дискретной модуляции по приведенным параметрам).

**Модуляция** — изменение во времени одного или нескольких параметров высокочастотного электрического колебания в соотв. с законом изменения передаваемого сообщения.

**Манипуляция** — дискретная модуляция.

**Место устройства на обобщенной структуре**

Источник → Кодер источника → Кодер канала → **Модулятор** → Среда → ...

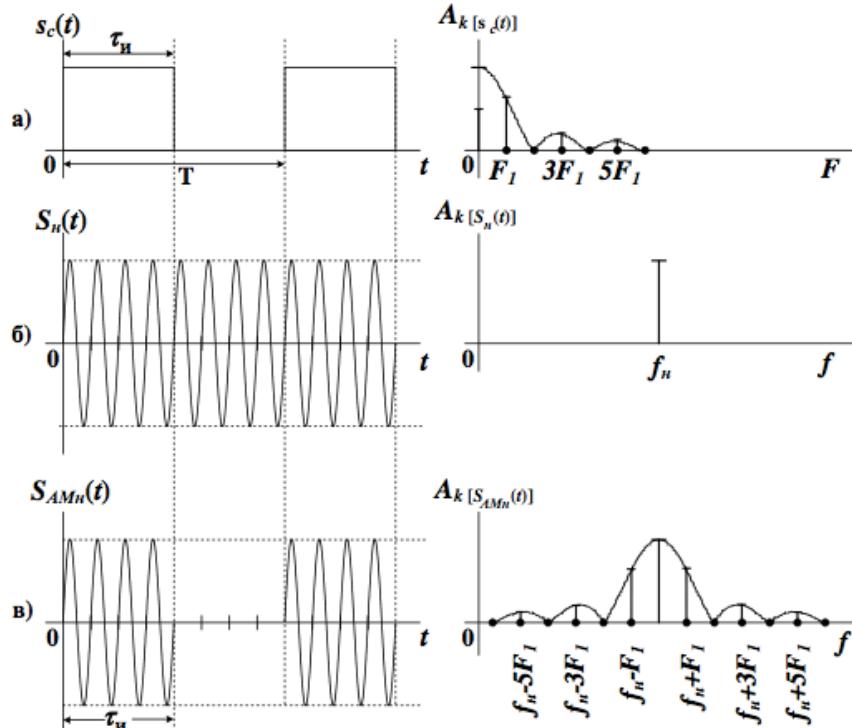
**Физическая сущность методов**

- **Амплитудная манипуляция (АМн, ASK)** — процесс изменения амплитуды несущего колебания по закону изменения *дискретного* информационного сообщения. Результат — пос-ть радиоимпульсов (отрезки гармонических колебаний):  $S_{\text{AMn}}(t) = \frac{1}{2}A_m(1 + x_c(t)) * \cos(\omega_n t + \varphi_0)$ ,  $x_c(t)$  — нормированная ф-ия, повторяющая закон изменения  $S_c(t)$
- **Частотная манипуляция (ЧМн, FSK)** — процесс изменения частоты несущего колебания по закону изменения *дискретного* информационного сообщения. Вид ЧМн можно представить в виде суммы 2-х АМн с разными несущими частотами:  $S_{\text{ЧМн}}(t) = S_{\text{AMn}}^1(t) + S_{\text{AMn}}^2(t)$
- **Фазовая манипуляция (ФМн, PSK, двоичная — BPSK)** — процесс изменения фазы несущего колебания по закону изменения *дискретного* информационного сообщения.  
Результат — пос-ть радиоимпульсов (отрезки гармонических колебаний):  $S_{\text{ФМн}}(t) = A_m * \cos(\omega_n t + (1 + x_c)\Delta\varphi_m)$ ,  $\Delta\varphi_m$  — т. н. девиация фазы (её максимальное отклонение от начальной). Для лучшего различия на приеме фазы должны максимально отличаться друг от друга. Можно представить в виде суммы 2-х АМн с противофазными несущими:  $S_{\text{ФМн}}(t) = S_{\text{AMn}}^1(t) + S_{\text{AMn}}^2(t)$   
Проблема ФМн — необходимость знания начальной фазы, на приеме должно происходить сопоставление с образцами, но признаков для такого сопоставления нет, поэтому начальная фаза может быть выбрана неверно (противоположной). Эту проблему решает ОФМн.
- **Относительно-фазовая манипуляция (ОФМн, DPSK)** — процесс изменения фазы несущего колебания по закону изменения *дискретного* информационного сообщения, предварительно перекодированного относительным кодом. У ОФМн информация заложена не в знания начальной фазы, а в разности фаз. Преобразование:  $S_{\text{отн}}^n(t) = S_c^n * S_{\text{отн}}^{n-1}$   
**Позиционность сигнала** (способа модуляции) — число  $m$ , которое показывает кол-во возможных начальных фаз (кратность модуляции).
- **Квадратурная относительная фазовая манипуляция (КОФМ, QPSK)** — тоже, что и ОФМн, но передаваемое сообщение представлено в виде:  $x(t) = x_{2k}(t) + x_{2k+1}(t)$   
Проблема КОФМ — при одновременной смене символов в обоих каналах модулятора происходят скачки на  $180^\circ$  (праоцирует искажения при

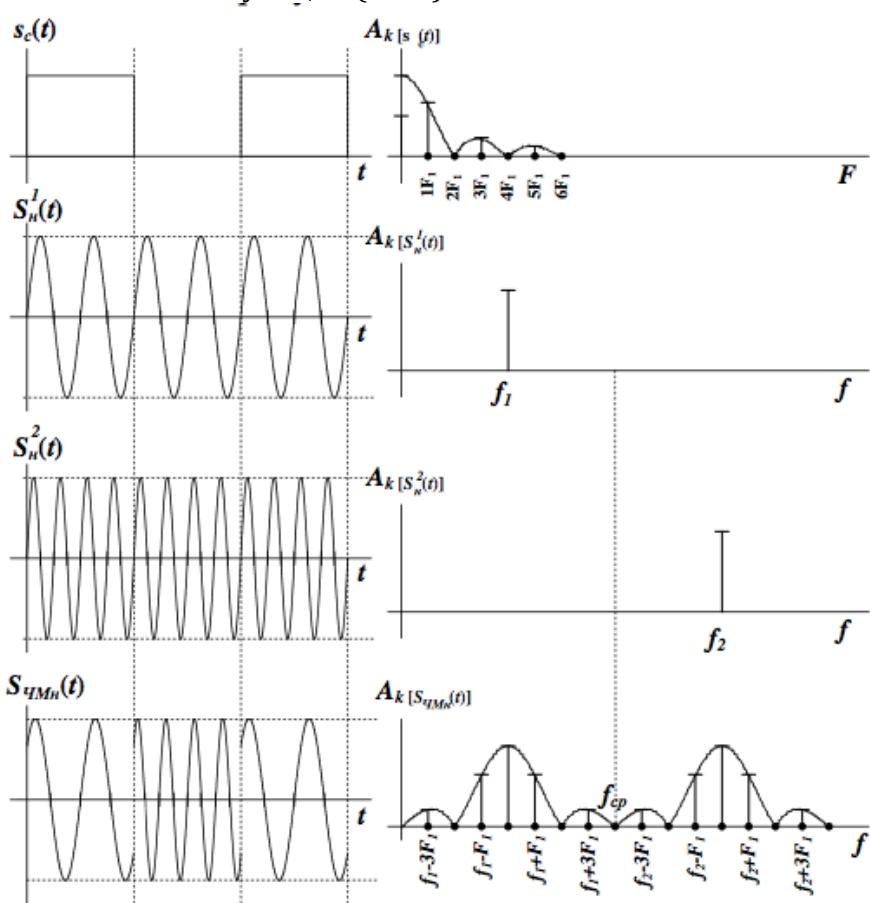
усилений). Решение проблемы — КОФМС (КОФМ со сдвигом). Суть — значение одной ф-ии может меняться только при неизменной другой.

### Временные и спектральные характеристики методов

- Амплитудная манипуляция (АМн)

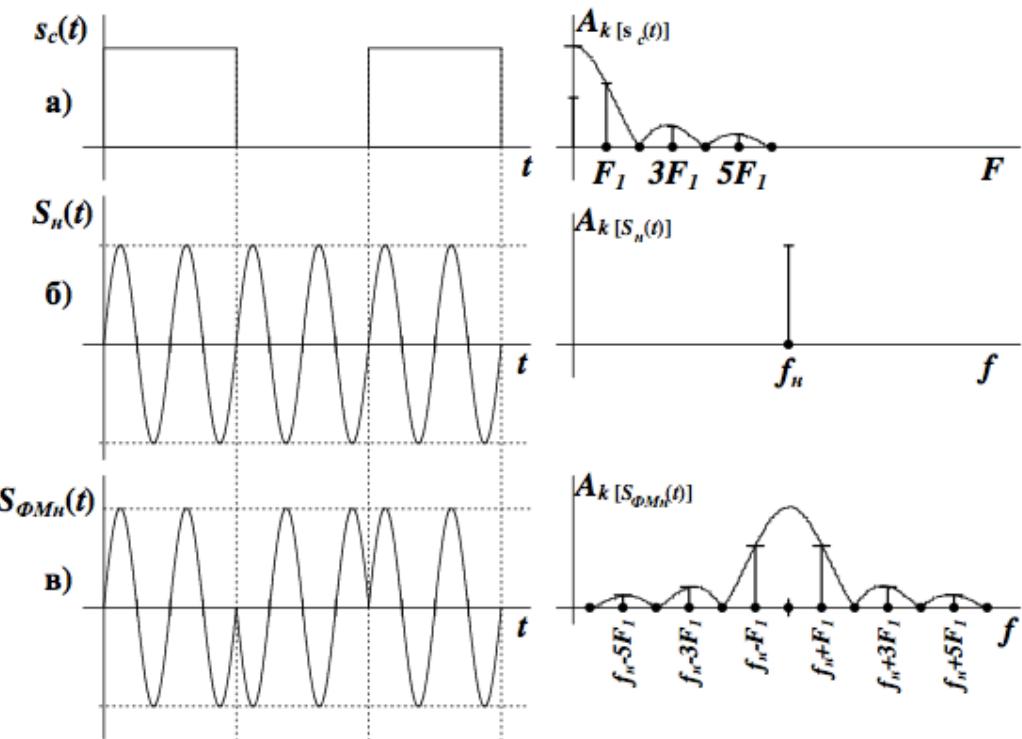


- Частотная манипуляция (ЧМн)

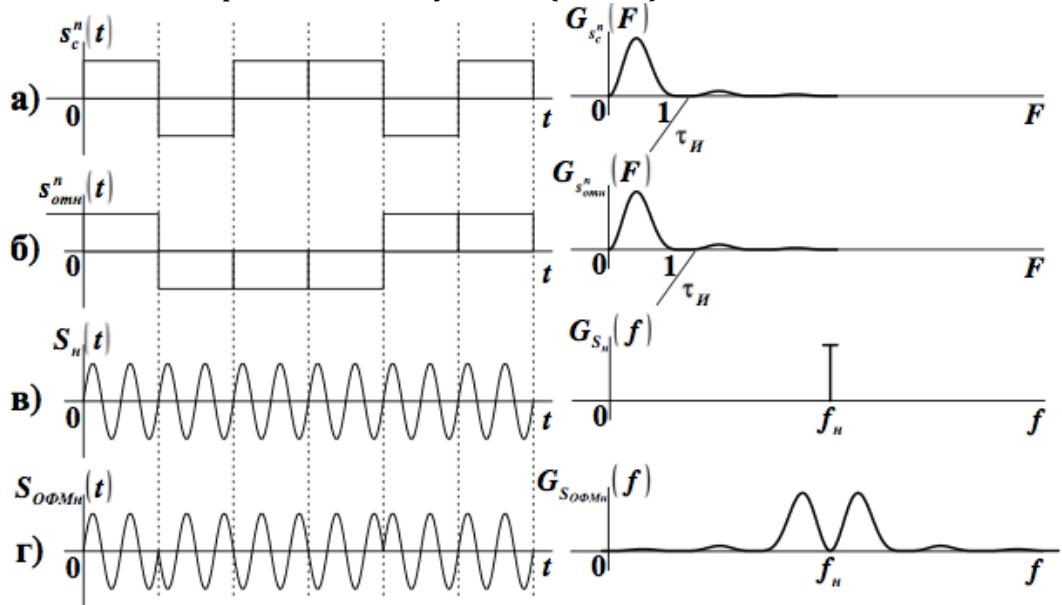


- Фазовая манипуляция (ФМн)

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку



- Относительно-фазовая манипуляция (ОФМн)



**Принципы оценки помехоустойчивости методов манипуляции**

Для оценки помехоустойчивости для каждого вида манипуляции вычисляется

$$\text{вероятность ошибки } p_{\text{ош}}^{\text{КГ}} = 0.65 * e^{-0.443(\gamma h + 0.75)^2}, \gamma = \begin{cases} \sqrt{2}, & \text{при ФМн} \\ 1, & \text{при ЧМн} \\ \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{при АМн} \end{cases}$$

Для ОФМн:  $p_{\text{OФMн}}^{\text{КГ}} = 2 * p_{\text{ФMн}}^{\text{КГ}} (1 - p_{\text{ФMн}}^{\text{КГ}})$

**Оценка помехоустойчивости методов манипуляции**

Из формулы видно, что чем меньше степень экспоненты, тем меньше вероятность ошибки. Наименьшая степень экспоненты будет при  $\gamma = \sqrt{2}$ , что соответствует ФМн  $\Rightarrow$  фазовая манипуляция наиболее устойчива к помехам.

### **Сравнение методов манипуляции**

Каждый метод имеет различную вероятность ошибки при константном отношении сигнал-шум (ОСШ).

Обычная манипуляция от *относительной* отличается тем, что в относительной предварительно происходит преобразование кода в относительный. Цель — устранение неопределенности начальной фазы.

В *квадратурной манипуляции* в отличие от обычной происходит разбиение информационного сигнала на четные и нечетные элементы, которые

распределяются по двум каналам с разными несущими (сдвинутыми на  $90^\circ$ ) .

Существует проблема — «паразитный» сдвиг на  $180^\circ$  при одновременной смене символов в обоих каналах. Решение проблемы — *КОФМ со сдвигом* (фаза может измениться только на  $90^\circ$ ).

## Вопрос №5. Системы распределения нагрузки

Осуществить сравнение способов обслуживания заявок в системах распределения информации (понятие интенсивность нагрузки, единицы измерения; сравнение основных способов обслуживания в коммутационных системах; понятие качества обслуживания; сравнение основных методов расчета систем распределения информации).

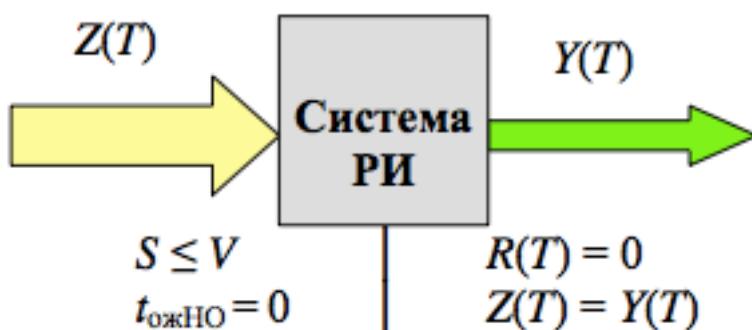
**Интенсивность нагрузки** — величина нагрузки коммутационной системы в течение одного часа (одно часозанятие) [ 1 Эрл = 1 часозанятие/час ]. Т. е. 1 Эрл — это величина, характеризующая полную занятость обслуживающего прибора (интенсивности нагрузки больше 1 Эрл быть не может).

Вводится понятие **Час наибольшей нагрузки**, для которого и ведутся все основные расчеты.

Нагрузка: **поступающая** (потенциальная нагрузка, которая могла бы быть, если бы каждому требованию безусловно выделялся свободный ресурс), исполненная (реальная нагрузка — суммарное время действительного занятия обслуживающих приборов) и **потерянная** (нагрузка, которая могла бы быть исполнена за счет заявок, получивших отказ).

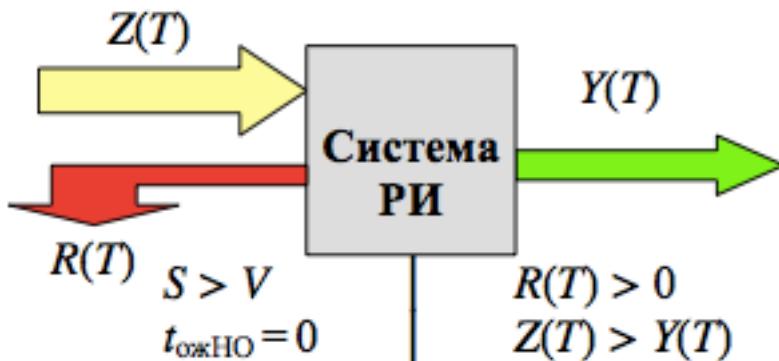
### **Сравнение основных способов обслуживания в коммутационных системах**

- Без потерь и ожидания



Любое поступающее требования немедленно обрабатывается (исполненная нагрузка совпадает с поступающей). Потерь нет. Такие системы низкоэффективны и встречаются крайне редко.

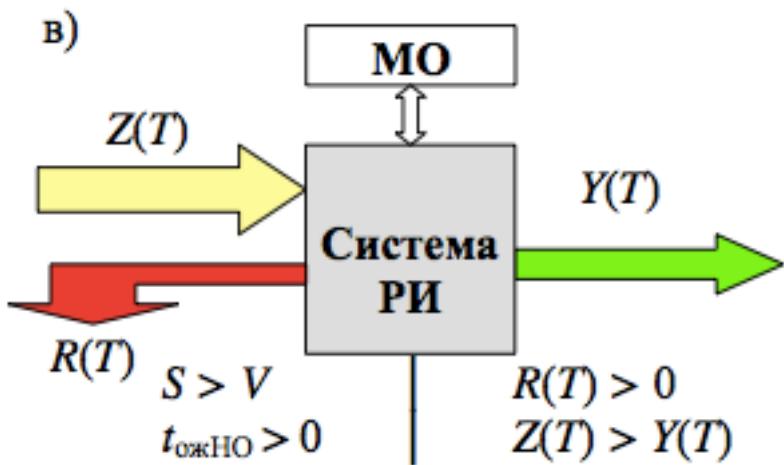
- С потерями



Кол-во пользователей превышает емкость обслуживающих приборов. Требование, поступившее в момент занятости всех приборов, теряется. Возвращение потерянной заявки может осуществиться позже.

- С ожиданием / с ожиданием и потерями

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку



Кол-во пользователей превышает емкость обслуживающих приборов. Требование, поступившее в момент занятости всех приборов, ставится в бесконечную очередь. К таким системам чаще всего предъявляется требованием с ограничением времени ожидания, ограничением кол-ва мест и т. д. По достижении этих ограничений заявки теряются (система с ожиданием и потерями).

### Качество обслуживания

- 1) Вероятность исполнения поступающих требований (для систем с потерями):  
 $q$
- 2) Вероятность того, что время ожидания не превысит заданной величины:  
 $q = P(t_{ож} \leq \tau)$

На практике часто используют обратные вероятности ( $p = 1 - q$ ). Измеряется чаще всего в промилле ( $1\% = 0.1\%$ ).

### Сравнение основных методов расчета систем распределения информации

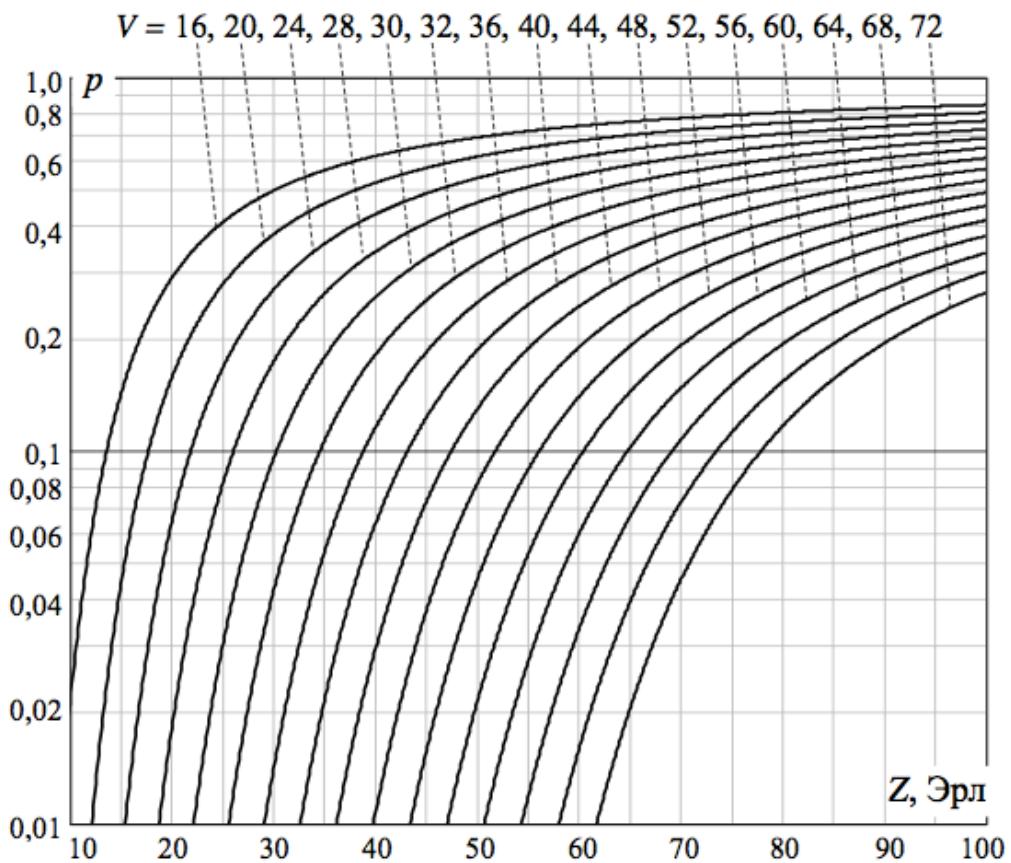
- Метод Эрланга — метод расчета *полнодоступных* схем при *простейшем* потоке требований и использовании способа обслуживания «*с отказами*»  
Расчет вероятности потерь из-за занятости обслуживающих приборов производится по формуле: 
$$p = \frac{\frac{Z^V}{x!}}{\sum_{k=0}^V \frac{Z^k}{k!}}$$

Где  $Z$  — интенсивность поступающей нагрузки,  $V$  — кол-во обслуживающих приборов,  $x$  — вероятность занятости обслуживающих приборов.

Для выполнения практических расчетов можно воспользоваться номограммой или таблицами Эрланга-Пальма:

$Z \backslash V$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0476	0012								
0,10	0909	0045	0002							
0,15	1304	0097	0005							
0,20	1667	0164	0011	0001						
0,25	2000	0244	0020	0001						
0,30	2308	0335	0033	0003						
0,35	2593	0434	0050	0004						
0,40	2857	0541	0072	0007	0001					
0,45	3103	0658	0097	0012	0001					

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

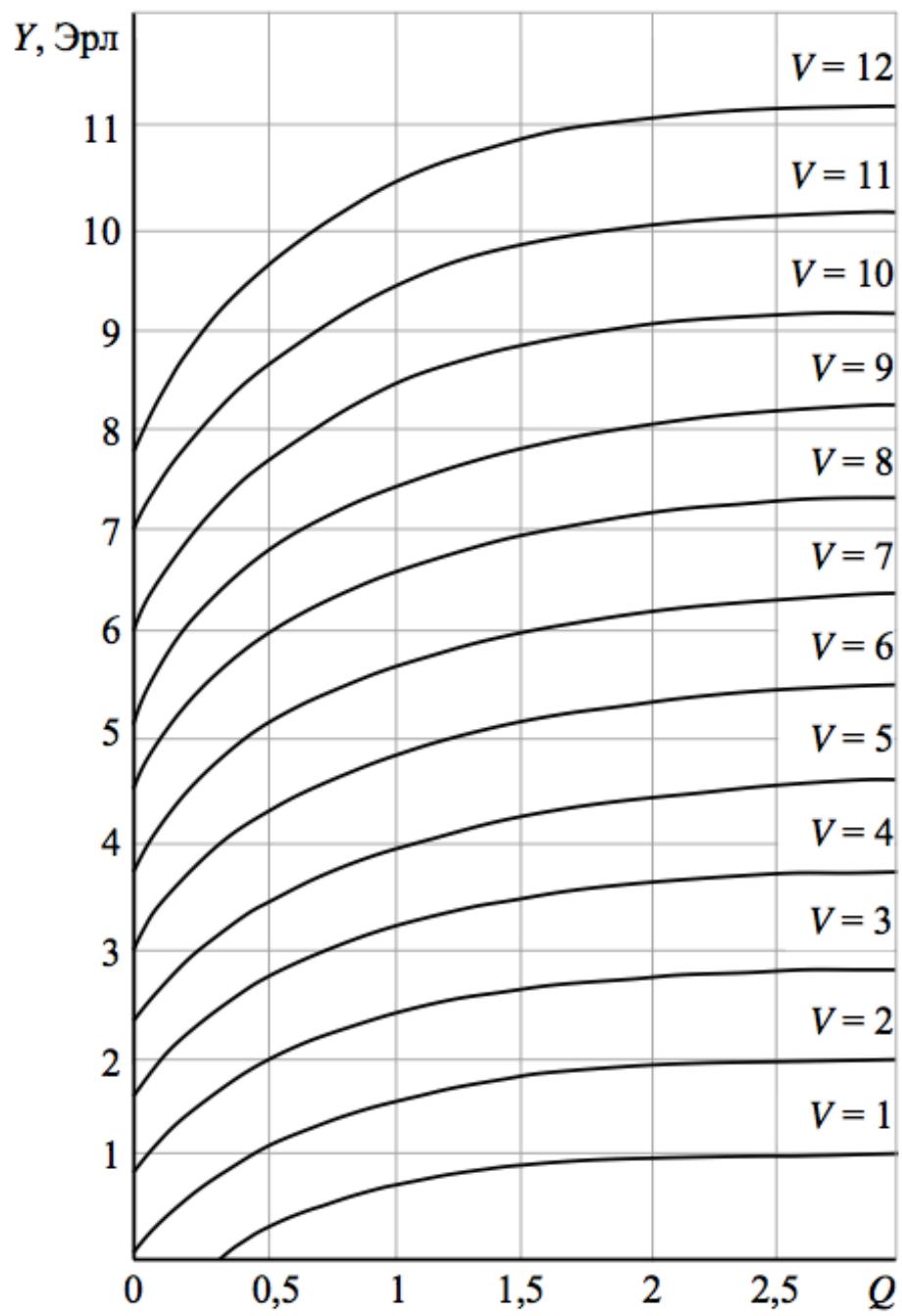


- Метод Энгсета — метод расчета *полнодоступных* схем при *примитивном* потоке требований и использовании способа обслуживания «с отказами» (на практике не рассматривали)
- Метод Бухмана — метод расчета *полнодоступных* схем при *простейшем* потоке требований и использовании способа обслуживания «с ожиданием»  
Расчет вероятности превышения времени ожидания заданной величины:

$$p(t_{\text{ож}} > 0) = \frac{Y^V}{(V-1)!(V-Y)(\sum_{i=0}^{V-1} \frac{Y^i}{i!} + \frac{Y^V}{(V-1)!(V-Y)})}$$

Для выполнения практических расчетов можно воспользоваться таблицами или номограммой Бухмана:

$Z = 0,1 \dots 9,0 \text{ Эрл}; \quad V = 1 \dots 10; \quad Q = 0$										
$Z \backslash V$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>0,1</b>	1000	0047	0001							
<b>0,5</b>	5000	1000	0151	0018	0001					
<b>0,6</b>	6000	1384	0246	0034	0004					
<b>0,7</b>	7000	1814	0369	0060	0008					
<b>0,8</b>	8000	2285	0520	0095	0014	0001				
<b>0,9</b>	9000	2793	0700	0143	0024	0003				



Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

## Вопрос №6. Характеристики сетей

Осуществить сравнение основных характеристик телекоммуникационных сетей (классификация основных характеристик сетей; сущность, количественные показатели, математические методы оценки; сравнение основных характеристик телекоммуникационных сетей по приведенным параметрам).

### **Классификация основных характеристик, сущности, кол-ые показатели, мат. методы оценки**

#### - **Морфологические характеристики**

##### Архитектура сети

*Сущность* — определение состава сети: типы образующих компонентов, иерархия и характер их взаимодействия.

##### Структура сети

*Сущность* — взаимосвязь коммутационных центров (КЦ) сети.

Обуславливает возможность распределения в сети потоков сообщений вне зависимости от расположения элементов. Структура представляется либо в виде графа (вершины — КЦ, ребра — ветви), либо в виде матрицы связности (см. тесты).

*Мат. метод оценки:* формирование матрицы связности степени  $N$  (кол-во КЦ), при дуплексной передаче используются наддиагональные матрицы.

##### Топология сети

*Сущность* — описание взаимного расположения входящих в сеть КЦ, группировки каналов по ветвям и направлениям и проложение линий связи на местности.

##### Стереология сети

*Сущность* — описание пространственного расположения элементов сети и их взаимосвязи, характера перемещения элементов сети (напр., при нахождении средств связи над поверхностью земли).

#### - **Характеристики функционирования**

##### Пропускная способность сети

*Сущность* — это св-во обеспечить передачу опр. объёма информации в заданных направлениях при фиксированных вероятностно-временных ограничениях (величина, численно равна суммарной интенсивности исполненной нагрузки по всем направлениям при обеспечении заданных показателей качества). Обычно задается отдельно для каждого направления связи.

*Количественный показатель* — исполненная нагрузка  $Y_j$ .

*Мат. метод оценки:* расчет по формуле —  $Y_j = Z_j(1 - p_j)$ , где  $Z_j$  — поступающая нагрузка,  $p_j$  — вероятность потерь,  $Y_j$  — исполненная нагрузка.

##### Живучесть сети

*Сущность* — это св-во обеспечить установление соединений и передачу сообщений между включенными в нее источниками и потребителями информации при выходе из строя её элементов или участков.

*Количественный показатель* — вероятность сохранения связности сети  $W$ .

*Способы включения элементов:*

- Последовательно:  $W_{общ} = W_1 * W_2, p = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)$

- Параллельно:  $W_{\text{общ}} = 1 - (1 - W_1)(1 - W_2), p = p_1 * p_2$
- Надежность сети  

*Сущность* — это возможности абонентов по установлению соединений и передаче сообщений по сети в условиях её реальной эксплуатации (учет технических неисправностей, отказов и т. п.) с сохранением заданного качества обслуживания.

*Количественный показатель* — вероятность безотказного обслуживания заявок  $W(t)$ .

*Мат. метод оценки:* расчет по формуле —

$$W(t) = R * q = \begin{cases} R(1 - p) & \text{для систем с потерями} \\ R(1 - P(t_{\text{ож}} > \tau)) & \text{для систем с ожиданием} \end{cases}$$

$R$  — вероятность безотказной работы системы

$$R = \frac{T}{T+T_{\text{пр}}} * e^{-\frac{t}{T}}, t$$
 — время выполнения задачи,  $T$  — общее время безотказной работы по паспорту,  $T_{\text{пр}}$  — среднее время простоя, в течение которого по техническим причинам оно не может быть использовано,  $\frac{T}{T+T_{\text{пр}}} = k_r$  — коэффициент готовности (характеризует задержку сразу после обращения к прибору).

При параллельном включении  $R_m = 1 - \prod_{k=1}^l (1 - R_k)$ ,  $R_k$  — вероятность безотказной работы  $k$ -ой линии.
- Функционирующая в сети нагрузка  

*Сущность* — это характеристика внутреннего состояния сети, определяемого занятием её элементов для обслуживания поступающих заявок и передачи сообщений.

*Количественный показатель* — исполненная по всем ветвям нагрузка  $Y_\Phi$

*Мат. метод оценки:* расчет по формуле —  $Y_\Phi = \sum_{j=1}^M Y_{m_j}$ ,  $Y_{m_j}$  — исполненная на ветви  $m_j$  нагрузка,  $M$  — число ветвей в сети. В общем случае  $Y_\Phi \leq Y(p)$
- **Экономические характеристики** — описание сети с точки зрения затрат на её создание и эксплуатацию / получаемого дохода от предоставления услуг.

### Сравнение основных характеристик телекоммуникационных сетей

*Морфологические характеристики* описывают сеть связи с точки зрения её состава, соединения и/или расположения её элементов, в то время, как *характеристики функционирования* описывают сеть с точки зрения протекающих в ней процессов. *Характеристики функционирования* несут в себе количественные показатели, с помощью которых можно оценить сеть. Оценить сеть по *морфологическим характеристикам* сложнее, поскольку в оценку включено большое множество факторов, более того здесь оценка производится исходя из конкретной ситуации.

## Вопрос №7. Алгоритмы маршрутизации

Осуществить сравнение алгоритмов маршрутизации (понятие плана распределения информации (нагрузки); классификация планов распределения информации; критерии оптимальности для определения маршрутов; физическая сущность тернарной операции; принципы определения оптимальных маршрутов в сетях связи для заданных алгоритмов; сравнение алгоритмов маршрутизации по приведенным параметрам).

**План распределения нагрузки** — заданная совокупность путей установления соединений между каждой парой пользователей и очередность их выбора.

**Маршрутизация** — процесс принятия решения о выборе маршрута доставки информации от отправителя к получателю.

### **Классификация планов распределения информации (нагрузки)**

Интересный вопрос. ПРН — совокупность путей и очередностей их выбора. Как можно классифицировать (подразделить) эти совокупности?

Думаю, можно сказать, что классифицировать их можно по характеру построения. А характер построения определяет выбранный критерий оптимальности.

Конкретные критерии оптимальности приведены в следующем пункте.

### **Критерии оптимальности для определения маршрутов**

- Минимальное длина устанавливаемых соединений (по числу транзитных узлов) (*протяженность*)
- Максимальная вероятность доведения информации (*надежность*)
- Минимальное время доведения сообщения (*пропускная способность*)
- Максимальное качество тракта передачи

Выбор критерия зависит от степени его влияния, возможности измерения и сложности перестройки плана.

### **Физическая сущность тернарной операции**

Сущность тернарной операции заключается в сравнении двух чисел и выборе одного из них по результату сравнения.

Тернарная операция применяется для корректировки матрицы весов при определении оптимальных путей:  $W'_{ij} = \text{opt}[w_{ij}, \mathfrak{R}(w_{ik}, w_{kj})]$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , а именно:

- Поиск наиболее короткого по протяженности пути:  $l'_{ij} = \min[l_{ij}, l_{ik} + l_{kj}]$  ( $\text{opt} \rightarrow \min, \mathfrak{R} \rightarrow " + "$ )
- Поиск наиболее протяженного пути:  $l'_{ij} = \max[l_{ij}, l_{ik} + l_{kj}]$
- Поиск наиболее надежного пути:  $q'_{ij} = \max[q_{ij}, q_{ik} \cdot q_{kj}]$
- Поиск пути с наибольшей пропускной способностью:  
 $C'_{ij} = \max[C_{ij}, \min(C_{ik}, C_{kj})]$

### **Принципы определения оптимальных маршрутов в сетях связи для заданных алгоритмов**

- Маршрутизация с коммутацией каналов

**Матричный алгоритм** — поиск оптимальный путей при ограничениях на максимальное число транзитных КЦ.

- Структура сети описывается матрицей расстояний  $L$ , элементы которой  $l_{ij}$  являются длиной ветви между КЦ<sub>i</sub> и КЦ<sub>j</sub> ( $\infty$  при отсутствии пути, 0 — путь к самому себе)

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

- Матрица  $L$  возводится в степень  $r \leq N - 1$  ( $N$  — число узлов в сети)
- Более высокая степень вычисляется до тех пор, пока не будет иметь место  $L^r = L^{r-1}$
- Полученная матрицы является дистанционной, она показывает кратчайшие пути между КЦ
- **Маршрутизация с коммутацией пакетов**  
*Алгоритм Дейкстры* — определение оптимальных путей между начальной вершиной и всеми остальными
  - Формирование начальных условий — все множество вершин разбивается на два подмножества:  $T = V_1, V_2, \dots, V_n \setminus V_h$  ( $V_h$  — начальная вершина)
  - Определение очередной вершины, исключаемой из множества  $T$  — определяется  $V_i \in T$ , для которой  $w_{hi} = \underbrace{\text{opt}[w_{hi}]}_{V_i \in T}$
  - Корректировка матрицы весов  $W$  и вектора путей  $D_h$  — исключить из множества  $T$  вершину  $V_i$  и для всех вершин выполнить тернарную операцию  $w_{nj} = \text{opt}[w_{nj}, \mathfrak{R}(w_{hi}, w_{ij})]$ . Если  $w_{nj}$  изменит свое значение, то  $d(i)$  заменяется на  $i$
  - Если в множестве  $T$  остался единственный элемент, процесс подошел к концу.

### **Сравнение алгоритмов маршрутизации**

В отличие от алгоритма Дейкстры в матричном алгоритме находятся оптимальные пути между любыми КЦ, а не между заданным и любыми другими.

В матричном алгоритме вводится ограничение на максимальное кол-во транзитных КЦ.

В обоих алгоритмах на каждой итерации применяется тернарная операция для определения наименьшего расстояния.

Алгоритм Дейкстры используется в сетях с коммутацией пакетов, в то время как Матричный алгоритм используется в сетях с коммутацией каналов.

## Вопрос №8. Связь РФ

Осуществить анализ структуры связи Российской Федерации (состав Связи Российской Федерации; краткая характеристика основных компонентов ЕСЭ; требования предъявляемые к ЕСЭ; понятие системы и плана нумерации; идентификация окончных элементов телефонных сетей связи; международный и национальный телефонный номер; сравнение форматов номеров при установлении различных видов соединений).

**Связь РФ** — совокупность сетей, служб и оборудования связи, расположенных на территории РФ.

### **Состав связи РФ:**

- Федеральная связь
  - Электросвязь
    - Единая сеть электросвязи
      - Сети связи общего пользования («за что плачу, тем и пользуюсь»)
        - Первичные сети
        - Вторичные сети
      - Сети связи ограниченного пользования (доступ с авторизацией)
        - Ведомственные сети связи для производственных и специальных нужд
        - Ведомственные связи для нужд управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка
      - Выделенные сети связи
    - Фельдъегерская связь
    - Почтовая связь
  - Внутрипроизводственные и технологические сети

### **Характеристика основных компонентов ЕСЭ**

- Сети связи общего пользования — сети, открытые всем физическим и юридическим лицам, в услугах которым не может быть отказано. Они широко разветвлены, охватывают всю территорию страны, обслуживают основную массу населения без каких-либо ограничений.
- Сети ограниченного пользования — ведомственные сети и сети для нужд управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка.

### **Требования предъявляемые к ЕСЭ**

- Соответствие (соответствие системе управления, как вышестоящей, по задачам, составу, построению и возможностям)
  - Сети должны подразделяться по территориальному признаку на магистральные, внутритерриториальные и местные
  - Должны быть свои системы управления, взаимодействующие между собой при функционировании этих сетей
  - Сети должны обладать заданной устойчивостью и обеспечивать передачу сообщений с заданными значениями показателей надежности и коэффициента живучести
  - Должна соблюдаться номенклатура каналов передачи и сетевых трактов

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

- Должны выполняться требования по обеспечению функций системы системы оперативно-розыскных мероприятий
- Единство (соответствие протоколов и стыков принятым стандартам)
  - На сетях связи должна быть организована техническая эксплуатация в соответствии с действующими правилами
  - Должна работать только аппаратура связи общего применения, имеющая сертификаты
  - Должна обеспечивать взаимосвязь с сетями администраций связи и с сетями других странах
  - Присоединение сетей ограниченного пользования должно осуществляться в соответствии с положением О порядке присоединения сетей электросвязи к сетям общего пользования и порядке регулирования пропуска телефонного трафика по сетям электросвязи общего пользования Российской Федерации.
  - Взаимодействие двух сетей должно быть технологическим, экономическим и правовым
- Резервируемость (возможности обеспечения устойчивого функционирования в различных условиях)
  - Сеть должна иметь систему восстановления, обеспечивающую работу сети как в нормальных, так и в экстремальных условиях
  - Сеть должна иметь систему резервирования

### **Система и план нумерации**

Система нумерации устанавливает требования к структуре цифровых, буквенных, символьных обозначений или комбинациям таких обозначений.

*Требования:*

- Минимальная значность номера
- Неизменность системы в течение длительного времени
- Наличие запаса емкости с учетом развития сети
- Простота структуры номера

План нумерации устанавливает назначение кодов и ресурса нумерации за зонами нумерации, сетями связи и услугами электросвязи.

*Типы:*

- Открытый (значность номера зависит от вида соединения (местное внутризоновое или междугороднее))
- Закрытый (значность номера зависит от вида соединения)

### **Идентификация окончательных элементов телефонных сетей связи**

- Код страны  $K_c$ : от 1-го до 3-х десятичных знаков (РФ — 7)
- Код зоны нумерации (РФ — 3 знака):
  - ABC — географически определяемая зона
  - DEF — географически не определяемая зона
- Зоновый телефонный номер:  $x_1x_2x_3x_4x_5x_6x_7$  — 7 десятичных знаков
- Местный телефонный номер: от 3-х до 7-ми десятичных знаков

### **Международный и национальный телефонный номер**

Международный телефонный номер  $N_{\text{мн}}$  образуется последовательными обозначениями кода страны, кода зоны нумерации и зонового телефонного номера. Максимальное число знаков — 15 (без учета международного префикса  $\Pi_{\text{мн}}$ ). Международный телефонный номер однозначно определяет окончательный элемент сети связи в пределах мировых сетей.

Национальный телефонный номер  $N_{\text{нац}}$  образуется последовательными обозначениями кода зоны нумерации и зонового телефонного номера. Максимальное число знаков — 10 (для РФ).

Национальный телефонный номер однозначно определяет оконечный элемент сети связи в пределах РФ.

Зоновый телефонный номер однозначно определяет оконечный элемент сети связи в пределах субъекта РФ.

Местный телефонный номер однозначно определяет оконечный элемент сети связи в пределах муниципального образования субъекта РФ.

Для установления международного соединения используется международный префикс  $\Pi_{\text{мн}}$ , раный «00».

Для установления междугороднего соединения используется национальный префикс  $\Pi_{\text{н}}$ , раный «0».

#### **Сравнение форматов номеров при установлении различных видов соединений**

- Международное телефонное соединение абонентов сети фиксированного связи:  $\Pi_{\text{н}} \Pi_{\text{мн}} K_c N_{\text{нац}}$
- Междугороднее телефонное соединение абонентов сети фиксированной связи:  $\Pi_{\text{н}} ABC x_1x_2x_3x_4x_5x_6x_7$
- Соединение между абонентами сети подвижной связи:  
 $\Pi_{\text{н}} K_c DEF x_1x_2x_3x_4x_5x_6x_7$

## Вопрос №9. Технологии построения LAN и WAN

Осуществить сравнение технологий построения телекоммуникационных сетей (LAN и WAN): решение проблемы соединения определенного максимального количества абонентских систем на определенных предельных дальностях в телекоммуникационных сетях; многоуровневая организация модели взаимосвязи открытых систем, основные задачи уровней, соответствие протокольных блоков данных и коммуникационных устройств уровням модели; способы разделения физической среды передачи между отдельными парами сетевых элементов; способы организации поочередного использования общей пассивной разделяемой среды для передачи информации от различных АС; физическая сущность понятий: протокол, интерфейс.

### **Решение проблемы соединения определенного максимального количества абонентских систем на определенных предельных дальностях в телекоммуникационных сетях**

Требование к максимальному кол-ву адресуемых элементов сети решается за счет выделения на адресные поля протокольных блоков данных несколько дополнительных байт.

Проблема предельной дальности решается следующими подходами:

- 1) Четкое разделение функций физической среды передачи и функций коммутации. За предельную дальность отвечают внешние технологии передачи, которые физическому уровню предоставляют готовый цифровой канал. Т. к. путем вторичной манипуляции можно передавать цифровую информацию на любые расстояния, то данный подход позволяет строить *глобальные сети (WAN)* с неограниченной дальностью.
- 2) Добавление к функциям физического уровня функций формирования и обработки сигналов для передачи через конкретную среду на конкретные максимальные дальности. Подобные технологии применяются для построения *локальных сетей (LAN)*.

### **Многоуровневая организация модели взаимосвязи открытых систем, основные задачи уровней, соответствие протокольных блоков данных и коммуникационных устройств уровням модели**

ЭМВОС (эталонная модель взаимосвязи открытых систем) — архитектура построения телекоммуникационных сетей.

Стек протоколов — иерархически организованный набор протоколов различных уровней конкретных сетевых технологий (примеры: TCP/IP, Novell).

Уровни ЭМВОС, их задачи и соответствующие ПБД и использующие устройства:

- Прикладной — предоставление пользователям сети доступа к разделяемым ресурсам (файлы, принтеры и т. п.), организация совместной работы.  
Примеры протоколов: HTTP, FTP, SMTP и т. п.
- Представительский — обеспечение понимания передаваемой информации прикладного уровня одной системы прикладным уровнем другой системы, выполнение шифрования/дешифрования.  
Примеры протоколов: SSL (секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня).
- Сеансовый — управление диалогом (фиксирует, какая из сторон является активной в данный момент, предоставляет средства синхронизации)

Примеры протоколов: SMB, NFS и пр. — все эти протоколы в чистом виде не реализуют сеансовый уровень. Его функции объединяются с протоколом прикладного уровня.

- Транспортный — обеспечение передачи данных с требуемой степенью надежности. Есть пять классов сервиса: срочность, возможность восстановления прерванной связи, наличие средств мультиплексирования соединений, способность к обнаружению и исправлению ошибок. Класс выбирается в зависимости от того, насколько надежность обеспечивается самими приложениями и более высокими уровнями и насколько надежна система транспортировки данных (более низкие уровни).  
ПБД — сегменты (TCP-сегмент, UDP-сегмент и т. п.).  
Примеры протоколов: TCP, UDP, SPX.  
Функции этого уровня реализуются ПО конечных узлов — компонентами их сетевых ОС
- Сетевой — образование единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей (реализуется доставка данных между сетями). Разные сети соединяются маршрутизаторами (посеть маршрутизаторов, через которые проходит пакет образуют маршрут, выбор наилучшего пути — маршрутизация — главная задача этого уровня).  
ПБД — пакеты. Адреса для доставки состоят из номер сети и номер узла в этой сети (напр., IP-адрес).  
Примеры протоколов: ATM, Frame Relay, MPLS, X.25 — все четыре делятся с канальным уровнем; IP.  
Функции этого уровня реализуются программными модулями ОС, программами и аппаратными средствами маршрутизаторов.
- Канальный (уровень звена данных) — проверка занятости среды передачи и реализация механизмов обнаружения и исправления ошибок (реализуется доставка данных внутри сети).  
ПБД — кадры (набор битов). Окружаются посреди битов для выделения с добавлением контрольной суммы для дальнейшей проверки на корректность.  
Примеры протоколов: Ethernet (делится с физическим), Token Ring и т. д.  
Функции этого уровня реализуются сетевыми адаптерами и их драйверами.  
Также используется мостами, коммутаторами и маршрутизаторами.
- Физический — передача битов по каналам связи. Хар-ся характеристиками физической среды (полоса пропускания, сопротивление и т. п.).  
Здесь стандартизируются типы разъемов и назначения контактов.  
ПБД (если можно так назвать, в общем случае — элементарные единицы информации) — биты.  
Примеры протоколов: ADSL, ISDN и т. д.  
Функции этого уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети (со стороны компьютера, например, это сетевой адаптер).

### **Способы разделения физической среды передачи между отдельными парами сетевых элементов**

- В WAN используется уже поделенная физическая среда т. н. направляющими системами передачи. Сеть имеет вид попарно связанных сетевых элементов (узлов коммутации и АС) по принципу «точка-точка», а соединение конкретной пары АС осуществляется исходя из протоколов маршрутизации сетевого уровня (минимум через один узел коммутации).
- В LAN используется пассивная физическая среда передачи, соединяющая не отдельные пары, а все сразу. Сеть имеет вид связанных через общую

физическую среду всех АС по принципу «точка-многоточка», а соединение отдельных пар осуществляется исходя из дополнительных протоколов уровня звена данных (они регулируют поочередное использования общей среды передачи всеми АС)

### **Способы организации поочередного использования общей пассивной разделяемой среды для передачи информации от различных АС**

- Организация путем *детерминированного* последовательного предоставления каждой АС возможность передать очередной протокольный блок данных: исключается наложение передач от отдельных АС даже при большой нагрузке, но на последовательный опрос уходит время.
- Организация путем *случайного выбора* момента времени передачи очередного протокольного блока данных каждой АС: возможны наложения передач от отдельных АС, но они быстро обнаруживаются и через некоторое время передача повторяется.

При малой нагрузке лучше использовать второй способ, поскольку столкновения передач маловероятны, при большой — первый способ (при исп. второго способа на повторные передачи уже будет тратиться значительное время).

### **Физическая сущность понятий: протокол, интерфейс**

Протокол — совокупность правил взаимодействия равноправных логических объектов (различных открытых сетей).

Интерфейс — совокупность правил взаимодействия объектов соседних уровней.

## Вопрос №10. Технологии построения LAN (Ethernet)

Осуществить сравнение технологий построения локальных телекоммуникационных сетей (на примере Ethernet): решение проблемы соединения абонентских систем в локальных сетях; разделение функций управления логическим каналом и доступом к физической среде; способы организации поочередного использования общей пассивной разделяемой среды для передачи информации от различных АС; соответствие архитектуры технологий локальных сетей модели ЭМВОС; сравнение вариантов реализации технологий Ethernet.

### **Решение проблемы соединения абонентских систем в локальных сетях**

Для соединения АС используется общая пассивная физическая среда передачи. Она связывает сразу все АС, а не отдельные пары. Соединение отдельных пар осуществляется уже в соотв. с дополнительными протоколами уровня звена данных, которые регулируют поочередное использование общей среды передачи всеми АС.

### **Разделение функций управления логическим каналом и доступом к физической среде**

В практических всех технологиях построения LAN эти ф-ии реализуются двумя подуровнями: LLC и MAC (т. е. эти ф-ии разделяются, каждая из которых реализуется отдельным подуровнем).

- MAC — осуществляет управление доступом к физической среде
- LLC — осуществляет управление логическим каналом

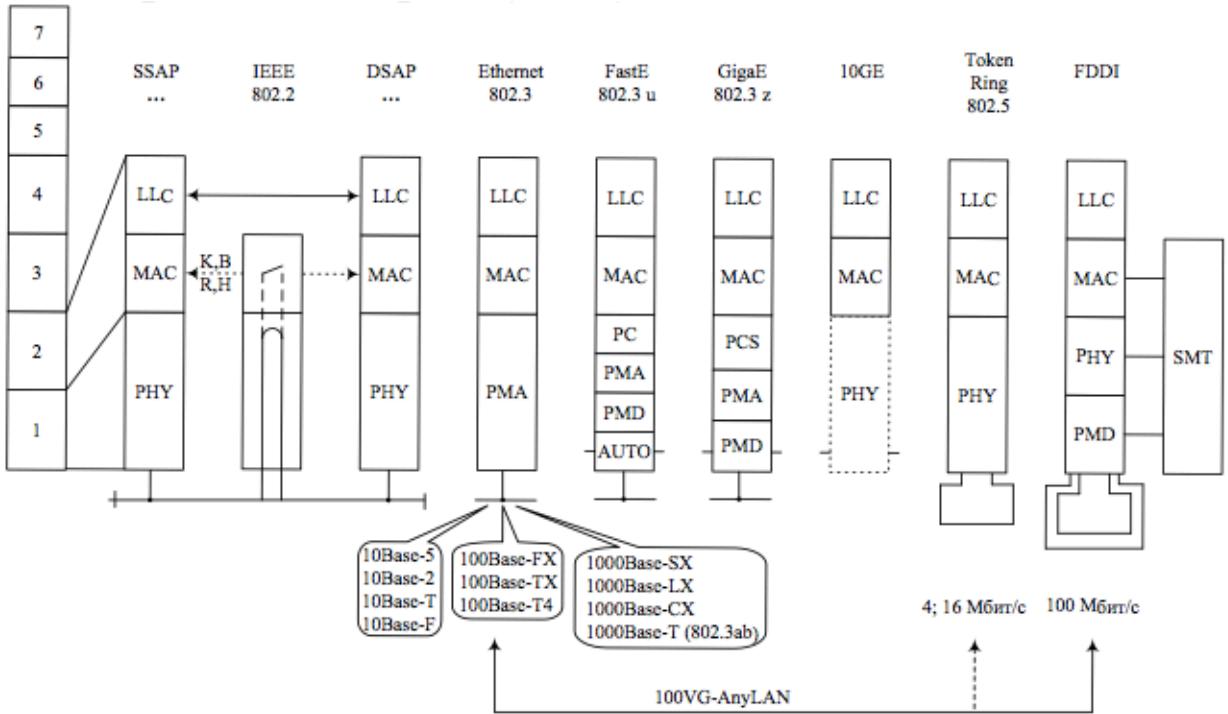
### **Способы организации поочередного использования общей пассивной разделяемой среды для передачи информации от различных АС**

В целом уже говорили об этом (см. этот же пункт предыдущего вопроса), можно добавить, что поочередное использование общей среды организует уровень MAC. Он обеспечивает корректное совместное использование общей среды, предоставляя её в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение конкретной АС.

Если рассматривать конкретно *Ethernet* (любую реализацию), то в нем используется следующий метод — CSMA/CD (КДОН/ОК — коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов). Применяется только в сетях с логической общей шиной (общая шина — это такая топология сети (схема соединения), при которой все абоненты подключены к общему кабелю (шине), а на концах установлены терминаторы (заглушают, не дают сигналу отражаться)). Все АС такой сети имеют непосредственный доступ к общейшине. CSMA/CD относится к методам случайного выбора.

### **Соответствие архитектуры технологий локальных сетей модели ЭМВОС**

Все технологии построения LAN реализуют два первых уровня ЭМВОС: канальный и физический. В Ethernet, как и почти во всех технологиях построения LAN, канальный уровень разбивается на два: LLC и MAC. Физический уровень может разбиваться на подуровни в зависимости от конкретной технологии (см. картинку).



### Сравнение вариантов реализации технологий Ethernet

Главные отличия реализаций Ethernet сосредоточены на физическом уровне. На канальном уровне все они имеют два подуровня: LLC и MAC и используют один метод доступа к физической среде — CSMA/CD.

- Ethernet. Макс. скорость — 10 Мбит/с

Используются следующие варианты подсоединения к физ. среде:

- 10Base-5 (каоксиал диаметром 0.5 дюйма, макс. — 500 м.)
- 10Base-2 (каоксиал диаметром 0.25 дюйма, макс. — 185 м.)
- 10Base-T (неэкранированная витая пара, макс. — 100 м.)
- 10Base-F (оптоволокно)
  - FOIRL (макс. — 1000 м.)
  - 10Base-FL (макс. — 2000 м.)
  - 10Base-FB (макс. — 2000 м.)

- Fast Ethernet. Макс. скорость — 100 Мбит/с

Используются следующие варианты подсоединения к физ. среде (каоксиальные кабели уже не попадают под требования):

- 100BaseTX (две экранированные витые пары и неэкранированные категории 5)
- 100BaseT4 (четыре неэкранированные витые пары категорий 3, 4 и 5)
- 100BaseFX (многомодовое оптоволокно с двумя волокнами)

FastE имеет меньший примерно на 200 м. диаметр сети, что объясняется увеличением скорости в 10 раз.

Физический уровень уже составной и состоит из следующих подуровней:

- PC (логическое кодирование данных)
- PMA (физическое присоединение)
- PMD (зависимость от среды передачи)
- Auto (подуровень автопереговоров — позволяет двум взаимодействующим портам выбирать наиболее эффективный режим работы (напр., полудуплекс/полный дуплекс))

- Gigabit Ethernet. Макс. скорость — 1000 Мбит/с

Используются следующие варианты подсоединения к физ. среде:

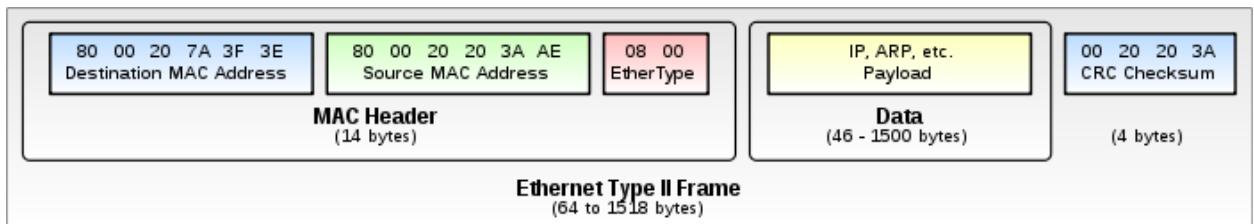
- 1000Base-SX (многомодовое оптоволокно на длине волны 850 нм, макс. — 500 м.)
- 1000Base-LX (одномодовое оптоволокно на длине волны 1300 нм, макс. — 5000 м.)
- 1000Base-CX (двойной каоксиал с волновым сопротивление в 150 Ом (2\*75), для полнодуплексной передачи нужно ещё две пары каоксиальных кабелей)

Физический уровень состоит из аналогичных подуровней за исключением Auto.

### Протокольные блоки данных

(прим.: в вопросе нет, но Нестеренко хотел видеть)

Для Ethernet ПБД — это кадр. Его формат следующий:



- Заголовок (MAC адрес источника, MAC адрес назначения и EtherType (это информация о типе протокола данных, инкапсулированных в данный кадр))
- Данные (вложены ПБД более высоких уровней)
- Контрольная сумма

## Вопрос №11. Принципы цифровой иерархии

Осуществить сравнение принципов цифровой иерархии (реализации принципов цифровой иерархии; проблемы мультиплексирования (демультиплексирования) пользовательских данных; виды среды на физическом уровне; физическая сущность понятий: транспортирование цифровых потоков, контейнер, виртуальный контейнер, нагрузочный модуль, группа субблоков, административный блок, группа административных блоков и синхронный транспортный модуль).

**Мультиплексирование** — уплотнение канала, т. е. передача нескольких потоков с меньшей пропускной способностью по одному каналу.

**Реализации принципов цифровой иерархии, проблемы мультиплексирования, виды сред на физ. уровне и понятия**

- Технология плезиохронной цифровой иерархии (PDH)

Мультиплексирование происходит следующим образом:



*Среды на физическом уровне:* поддерживается множество различных кабелей: витая пара, каоксиал, оптоволокно. Каналы E1 в основном исп. витой парой (две витых пар с разъемами RJ-48), E2 — каоксиальными кабелями, E3 — оптоволокном. В T1 на каждые 1800 м. ставятся регенераторы.

*Проблема мультиплексирования:* из-за отсутствия синхронности потоков для извлечения пользовательских данных из объединенного канала требуется полностью демультиплексировать кадры этого объединенного канала, что занимает определенное время.

*Другие минусы:* отсутствие нормальных процедур контроля и управления сетью, низкие по современным понятиям скорости.

- Технология синхронной цифровой иерархии (SDH)

Мультиплексирование происходит следующим образом:

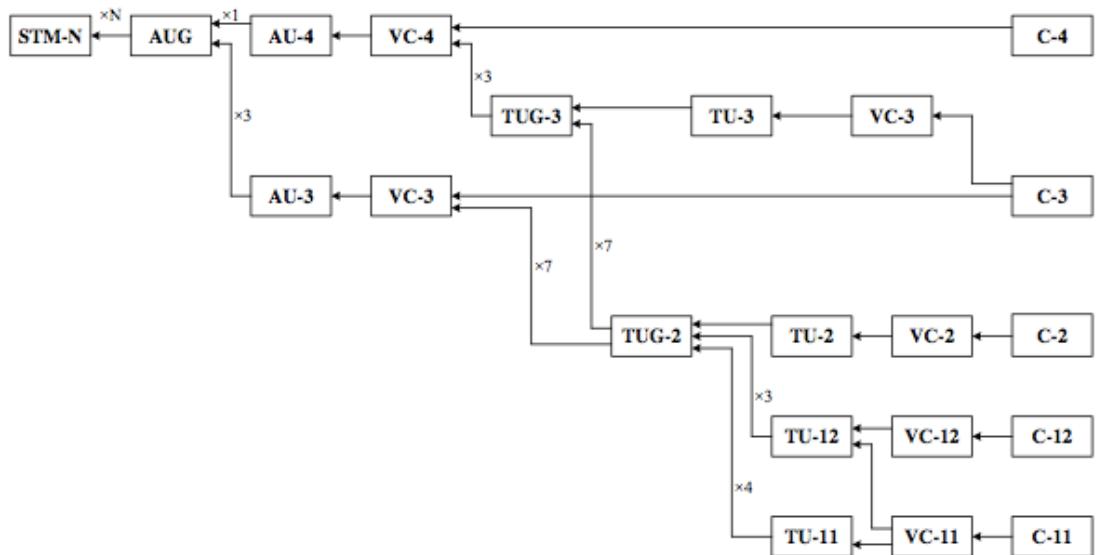


Рис. 2. Схема мультиплексирования данных в SDH

*Среды на физическом уровне:* в соответствие со скоростными способностями по передаче информации конкретного кабеля выбирается соответствующий синхронный транспортный модуль. Для радиолиний, которые недостаточно мощны даже для транспортировки STM-1 был введен STM-RR со скоростью 52 Мбит/с

*Транспортирование цифровых потоков* — передача цифровых потоков и выполнение функций контроля, маршрутизации, передачи оперативной, административной и обслуживающей информации.

- С (Container, контейнер): С-11 и С-12 соотв. потоку Е1 ПЦИ; С2, С3 и С4, соответственно, Е2, Е3 и Е4. Физически контейнер представляет из себя совокупность ОЦК (64 Кбит/с).
- VC (Virtual Container, виртуальный контейнер): формируется путем добавления к С трактового заголовка РОН (его ф-ия — контроль качества и передача аварийной и эксплуатационной информации)
- TU (Tributary Unit, субблок, нагрузочный модуль): формируется путем добавления к VC TU-указателя (он показывает смещение позиции VC трактов нижнего порядка относительно VC трактов более высокого порядка)
- TUG (Tributary Unit Group, группа субблоков): формируются путем объединения (мультиплексирования) субблоков (на схеме, например, TUG-2 может содержать либо TU-2, либо 3 TU-12, либо 4 TU-11), к которым далее также добавляется аварийная и эксплуатационная информация (образуются VC)
- AU (Administrative Unit, административный блок): формируется путем добавления к VC их информационной нагрузки и AU-указателя (он показывает смещение контейнеров относительно начала кадра STM). Цель — согласование трактов верхнего порядка и среды передачи.
- AUG (Administrative Unit, группа административных блоков): формируется путем объединения (мультиплексирования) административных блоков (1 AU-4, либо 3 AU-3)
- STM (Synchronous Transport Module, синхронный транспортный модуль): формируется путем добавления к AUG секционного SOH-заголовка (в нем содержится кол-во объединенных групп)
 
$$STM-1 = AUG + SOH$$

$$STM-N = AUG \times N + SOH$$

В настоящее время специфицированы следующие модули:

- STM-1 — транспортировка со скоростью 155 Мбит/с
- STM-4 — транспортировка со скоростью 622 Мбит/с
- STM-16 — транспортировка со скоростью 2,5 Гбит/с
- STM-64 — транспортировка со скоростью 10 Гбит/с

## Вопрос №12. Цифровые сети с интеграцией служб

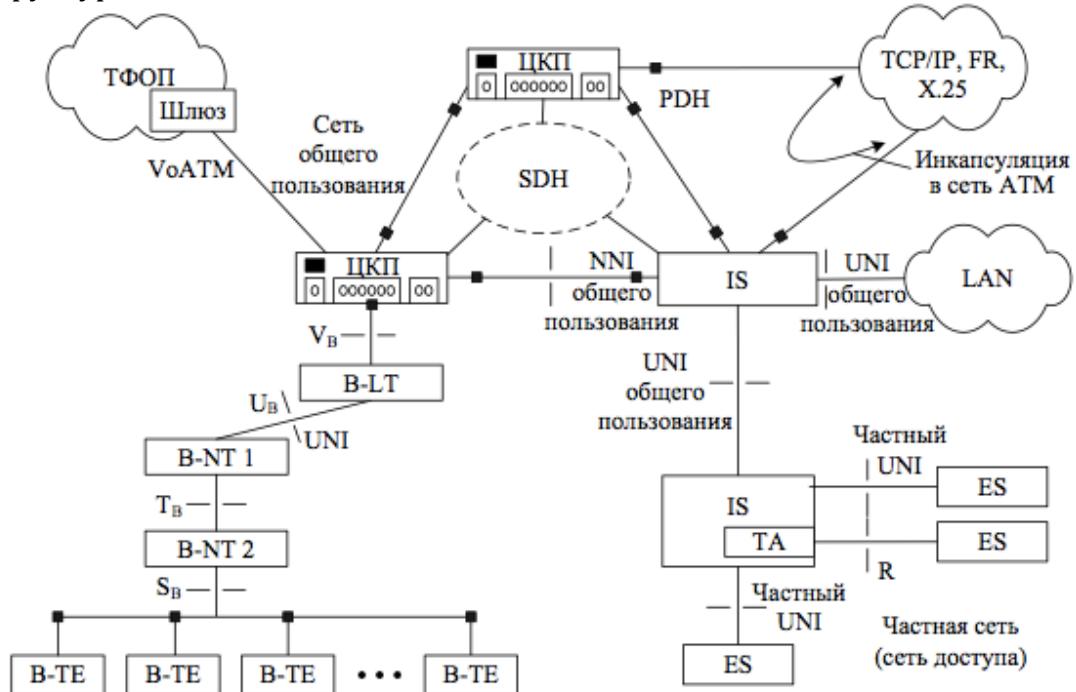
Осуществить сравнение цифровых сетей с интеграцией служб: типовые структуры и состав узкополосных и широкополосных сетей с интеграцией служб; соответствие архитектур заданных технологий модели ЭМВОС; основные принципы построения ЦСИС; форматы протокольных блоков данных; краткая характеристика полей протокольных блоков данных; классификация интегрируемых служб и услуг; сравнение узкополосных и широкополосных сетей с интеграцией служб по приведенным параметрам.

**ISDN (ЦСИС)** — цифровая сеть с интеграцией служб. Позволяет совместить услуги телефонной связи и обмена данными. В целом под ISDN подразумевается N-ISDN.

**B-ISDN** (Broad-band ISDN) — широкополосная ЦСИС (построена на основе ATM).  
**N-ISDN** (Narrow-band ISDN) — узкополосная ЦСИС.

### **Типовые структуры и состав ISDN и ATM**

- Структура и состав сети ATM



#### Элементы сети:

- ES (end system) — оконечная система (оборудование пользователя, локальная сеть ATM, Ethernet или УПАТС)
- IS (intermediate system) — промежуточная система (коммутаторы доступа или транзисторные коммутаторы ATM)
- UNI — интерфейс пользователь-сеть (стык в частной сети или в сети общего пользования для подключения разных оконечных установок для различных видов информации к одной «розетке связи»)
- NNI — сетевой интерфейс (стандартный стык между сетями или узлами сети)
- LT (Line Terminal) — линейные терминальные устройства
- NT (Network Terminal) — сетевые терминальные устройства
- TE — абонентские терминалы
- TA — терминальные адаптеры

- ЦКП — центр коммутации пакетов (узел коммутации; первый определяет, чем является информация: речью или данными и направляет в зависимости от этого в ТФОП или в другой ЦКП, предназначенный уже только для обработки данных).
  - SDH — синхронная цифровая иерархия (цифровые каналы физ. среды)
  - ТФОП — телефонная сеть общего пользования
- Прочее:
- VoATM (Voice over ATM) — голос поверх ATM (данных)
  - $S_b, T_b, U_b, V_b$  — контрольные точки стыков
- Структура и состав сети ISDN

Структура аналогична ATM, за исключением обозначений элементов с буквой «B». Она обозначает “Broad-band” — широкополосная сеть. ISDN является узкополосной, буква «B» не используется. Также не используется понятие промежуточной системы (IS) и оконечной системы (ES).

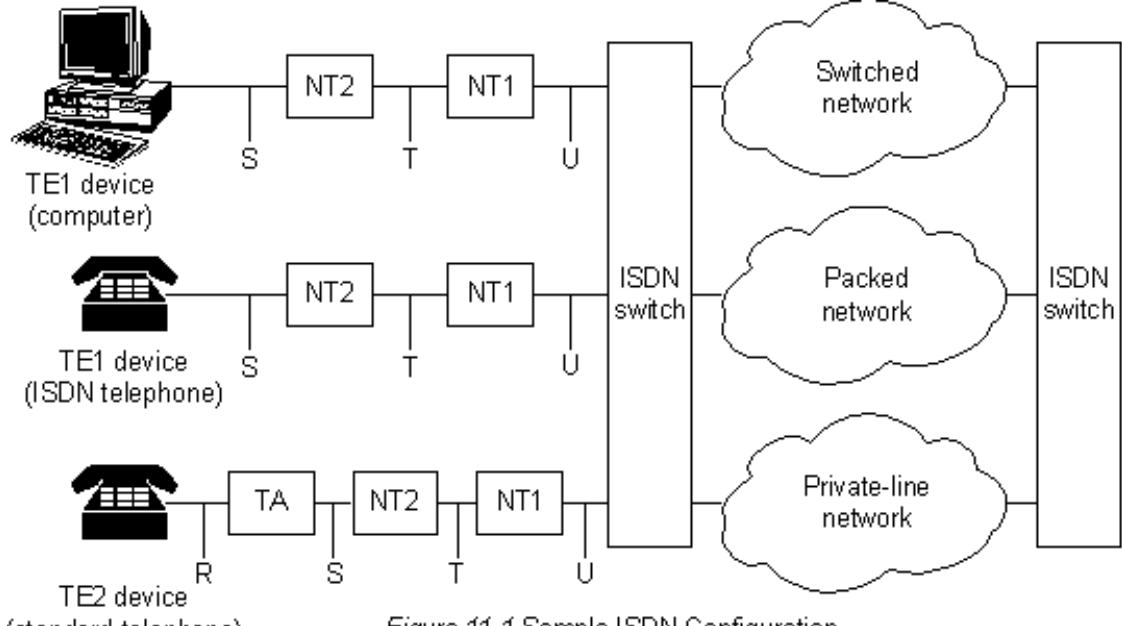


Figure 11-1 Sample ISDN Configuration

Обозначения:

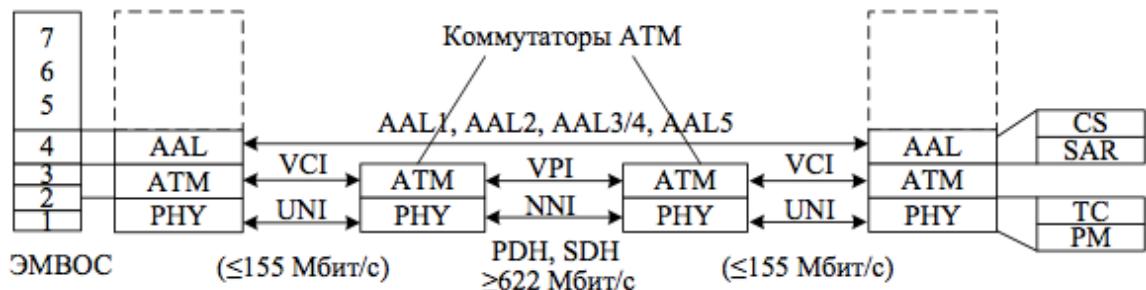
- TE — абонентские терминалы
- TA — терминальный адаптер
- NT — сетевой адаптер
- ISDN-switch — ISDN-коммутатор

### Соответствие архитектур заданных технологий модели ЭМВОС

- ATM

Охватывает 4 уровня ЭМВОС и делит их между своими 3-мя уровнями:

- Уровень адаптации (AAL) — форматирование пакетов, передаваемых ячейкам; предоставление управляющей информации для ATM-уровня, необходимой для установления соединений с заданным QoS (Quality of Service — качество обслуживания); управление последовательностью и скоростью передачи пакетов с целью предотвращения перегрузок
- Уровень ATM — передача сигналов в виде ячеек опр. формата, управление трафиком (очередность, скорость, задержки и т. п.), установление соединений и маршрутизации
- Физический уровень — установление, каким образом отдельные биты должны проходить через среду передачи и как из последовательности бит выделить границы ячеек



Обозначения:

- UNI (User-to-Network Interface) — интерфейс пользователь-сеть (интерфейс между конечной станцией и коммутатором)
- VPI (Virtual Path Identifier) — идентификатор виртуального пути. Исп. для указания, какому маршруту принадлежит канал — для определения следующего места назначения ячейки.
- VCI (Virtual Circuit Identifier) — идентификатор виртуального канала. Также исп. для определения следующего места назначения ячейки.
- ISDN

В качестве архитектуры ISDN в рекомендации I.320 определена семиуровневая модель, аналогичная ЭМВОС:



Рис. 3. Архитектура сети ISDN

- BRI (I.430; домашнее использование)/PRI (I.431; корпоративные клиенты).
- Q.921 (LAPD) — обеспечение потока и соответствующий прием управляющие и сигнализирующей информации
- Q.931 (X.25/3) — обеспечение соединения пользователь-пользователь, соединения с коммутацией каналов и коммутацией пакетов

### Основные принципы построения ЦСИС

- Обеспечение доступа к широкому диапазону служб, как речевых, так и не речевых
- Передача всех сообщений в цифровой форме
- Соединение абонентов по сквозному каналу цифровому каналу с использованием коммутации каналов (но предусмотрено и исп. коммутации пакетов)
- Предоставление доступа к сетевым службам через ограниченный набор стандартных многофункциональных интерфейсов

- Канальная структура для подключения абонентских установок: 2B + D (2 по 64 Кбит/с и 1 по 16 Кбит/с)
- Канальная структура для подключения учрежденческих коммутационных станций: 30B + D (30 по 64 Кбит/с и 1 по 16 Кбит/с)
- Каждая абонентская установка имеет только один номер для вызова (абонентский номер)
- Возможность установления связи абонентов других сетей с абонентами ISDN через устройство сопряжения (шлюз)

### Форматы протокольных блоков данных и их краткая характеристика

- ATM

ПБД в ATM — это ячейка:

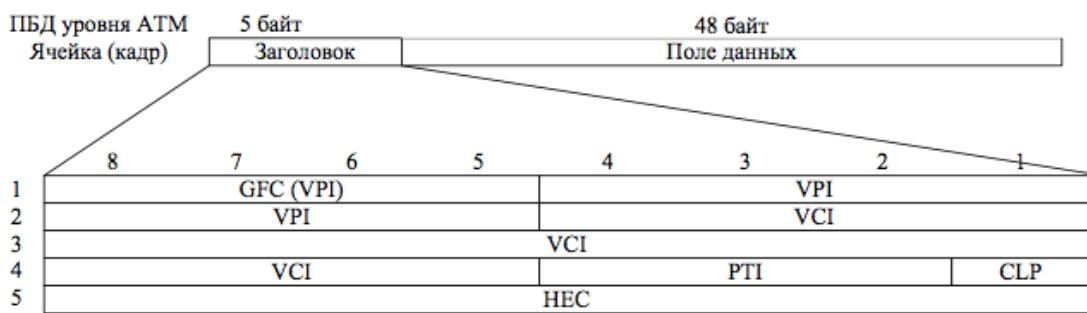


Рис. 3. Формат протокольных блоков данных ATM

Хар-ка:

- GFC (Generic Flow Control) — управление общим потоком (4 бита)
  - VPI (Virtual Path Identifier) — идентификатор виртуального пути (8 бит)
  - VCI (Virtual Circuit Identifier) — идентификатор виртуального канала (16 бит)
  - PTI (Payload Type Identifier) – идентификатор типа полезной нагрузки (3 бита)
  - CLP (Cell Loss Priority) – приоритет потери ячейки (1 бит)
  - HEC (Header Error Control) – контроль ошибок заголовка (8 бит)
- ISDN

ПБД в ISDN — это кадр LAPD:

Флаг	Адрес	Контрольное поле	Инф. поле Q.931	CRC	Флаг
1 байт	1-2 байта	1-2 байта	≥ 5 байт	2 байта	1 байт

Адрес состоит из кода службы (1 байт) и информации для адресации абонентских устройств (1 байт).

Флаг разграничивает окончание предыдущего кадра и начало следующего (1 байт — “01111110”).

### Классификация интегрируемых служб и услуг

Рассмотрим на примере ATM. Всего определено пять категорий услуг, поддерживающихся одноименными службами:

- CBR (Constant Bit Rate) – постоянная скорость передачи в битах, предоставляет услуги для трафика с постоянной битной скоростью
- rtVBR (real time Variable Bit Rate) – переменная скорость передачи в битах реального времени, предоставляет услуги для трафика с переменной битной

скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника

- nrtVBR (not real time Variable Bit Rate) – переменная скорость передачи в битах нереального времени, предоставляет услуги для трафика с переменной битной скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных, но не требующего синхронизации источника и приемника
- ABR (Available Bit Rate) – доступная скорость передачи в битах, предоставляет услуги для трафика с переменной битной скоростью, требующего соблюдения некоторой минимальной скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника
- UBR (Unspecified Bit Rate) – неопределенная (негарантированная) скорость передачи в битах, предоставляет услуги для трафика, не предъявляющего требований к скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника

A	B	C	D
CBR	VBR	ABR	UBR
С установлением соединения			Без установления соединения
Синхронно			С задержками
Постоянная скорость	Переменная скорость		
Аудио- и видеосигналы	Сжатые аудио- и видеосигналы	Данные, TCP/IP, трафик LAN	
AAL1	AAL2	AAL3/4, AAL5	AAL3/4

### Сравнение узкополосных и широкополосных сетей с интеграцией служб по приведенным параметрам

В ISDN приоритет берется на телефонию, а в ATM — на передачу данных.

ATM предоставляет скорости от 155 Мбит/с, в то время как в ISDN скорость не высока и ограничена 2-мя Мбит/с (1920 Кбит/с, канал H12). Это обусловлено тем, что полоса пропускания в ATM больше, чем в ISDN (как и следует из названия — “широкополосная”/”узкополосная” сеть).

(Нестеренко на слайдах схематически показывал частотные полосы для голоса и для данных: для голоса 0.3-4 кГц, для данных — кажется, сотни кГц, точно не помню)

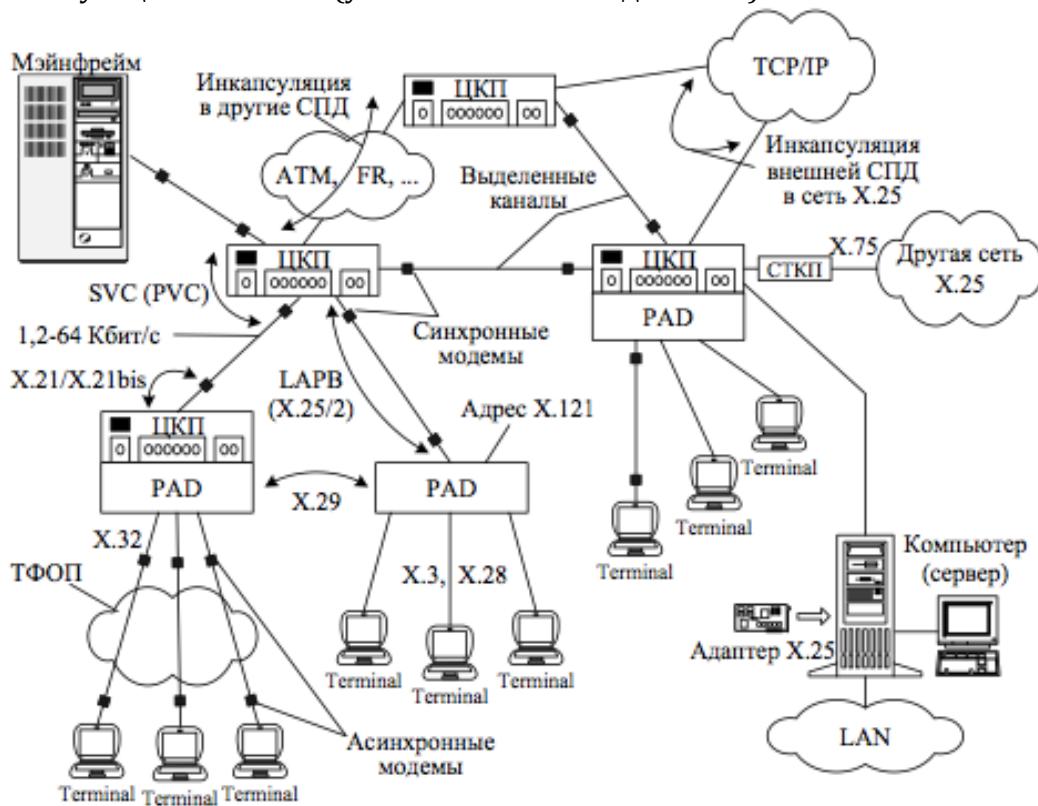
## Вопрос №13. Технологии транспортных сетей

Осуществить сравнение низкоскоростных технологий транспортных сетей: типовые структуры и состав технологий; соответствие архитектур заданных технологий модели ЭМВОС; основные отличительные особенности эксплуатации сетей; форматы протокольных блоков данных; краткая характеристика полей протокольных блоков данных; сравнение низкоскоростных технологий транспортных сетей по приведенным параметрам.

**Транспортная сеть** — сеть, выполняющая функции транспортирования в телекоммуникационных сетях (состоит из систем передачи, средств контроля, резервирования, управления и т. п.).

### **Типовые структуры и состав технологий**

- X.25 — интерфейс между Оконечным Оборудованием Данных (ООД) и Аппаратурой окончания Канала Данных (АКД). Ориентирован на работу с коммутацией каналов (установлением соединения).



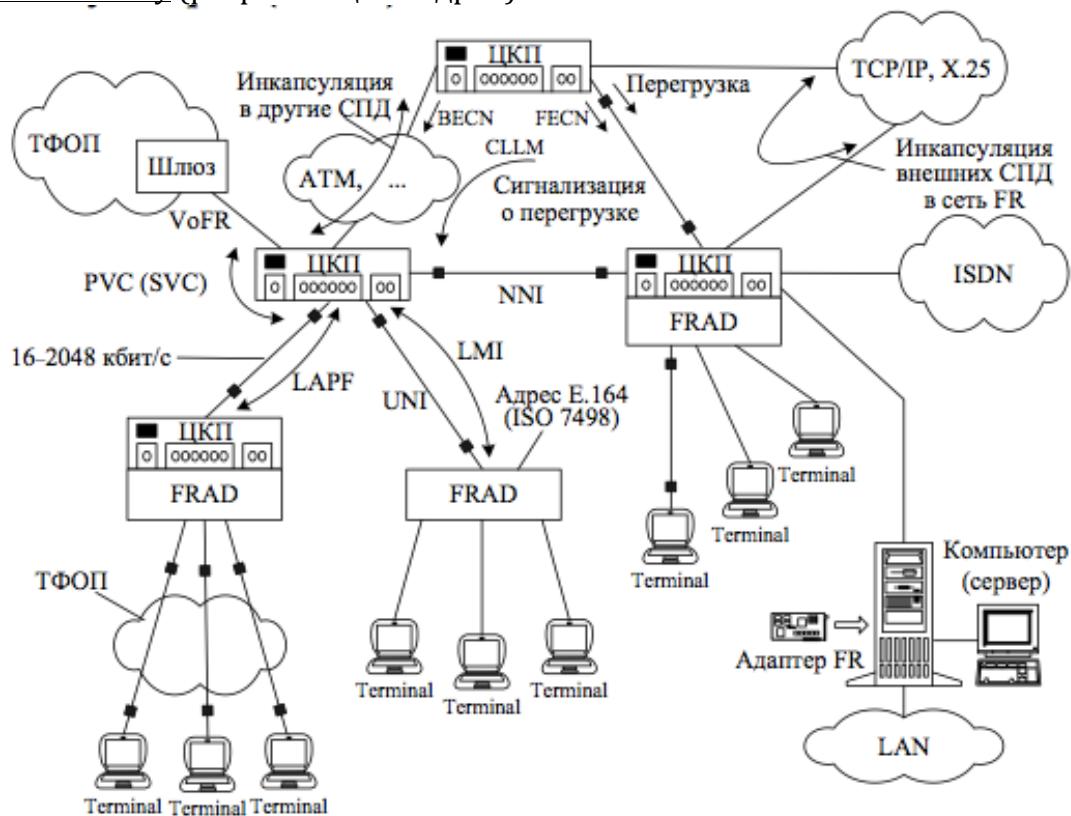
**Элементы:**

- Оконечные устройства (Terminal)
- Центры коммутации пакетов (ЦКП)
- Сборщики-разборщики пакетов (PAD)
- Каналы физической передачи
- Коммутируемый виртуальный канал (SVC; создается только в моменты передачи информации) / постоянный виртуальный канал (PVC; существует между двумя пользователями длительное время, даже в отсутствие передач)

**Обозначения (рекомендации серии X):**

- X.3 — сборщик-разборщик пакетов
- X.21 — универсальный интерфейс между ООД и АКД

- X.21bis — тоже, что и X.21, но для модемов, удовлетворяющих рекомендациям серии V (рекомендации по построению модемов для каналов связи с качеством международных стандартов).
- X.28 — интерфейс между термиナルным оборудованием и оборудованием передачи данных
- X.29 — процедуры обмена управляющей информацией между термиナルным оборудованием пакетного типа и PAD
- X.75 — система, используемая для соединения сетей коммутации пакетов (аналогичен X.25, но предоставляет услуги, запрашиваемые внутри сети — на сетевом уровне имеет доп. поля сетевых утилит)
- X.121 — стандарт адресов X.25
- X.25/2 (LAPB) — это кадр X.25
- СТКП — сигнальные терминалные коммутаторы пакетов (исп. для соединения разных сетей посредством интерфейса X.75)
- Frame Relay (ретрансляция кадров)



**Элементы:**

- Оконечные устройства (Terminal)
- Устройства доступа к сетям с ретрансляцией кадров (FRAD, аналогичен PAD в X.25)
- Центры коммутации пакетов (кадров) (ЦКП)
- Каналы физической передачи
- Коммутируемый виртуальный канал (SVC) / постоянный виртуальный канал (PVC)

**Обозначения:**

- LAPF — это кадр FR
- E.164 (ISO 7498) — стандарт адресов FR
- UNI (User-to-Network Interface) — интерфейс пользователь-сеть (интерфейс между конечной станцией и коммутатором)

- NNI — сетевой интерфейс (стандартный стык между сетями или узлами сети)
- LMI (Local Management Interface) — интерфейс управления локальной сетью
- VoFR (Voice over FR) — передача голоса поверх FR
- CLLM — механизм передачи сигналов управления (CLLM-сообщение содержит информацию о перегрузке сети)
  - BECN — бит явного уведомления источника о перегрузке
  - FECN — бит явного уведомления приемника о перегрузке

### Соответствие архитектур заданных технологий модели ЭМВОС

- X.25

Архитектура X.25 охватывает 3 уровня ЭМВОС:



- *Физический уровень* — стыки между ООД и АКД
- *Уровень звена данных (X.25/2)* — процедуры управления звеном (LAPB — Link Access Protocol, Balanced) — сбалансированные (симметричные), т. к. обмен данных может инициировать и ООД, и АКД. Обмен данными осуществляется кадрами.
- *Сетевой уровень (X.25/3)* — возможность информационного взаимодействия с другими пользователями сети посредством временных (SVC) или постоянных (PVC) вирт. каналов, а также путем обмена дейтаграммами (это блок информации, передаваемый протоколом без предварительного установления соединения и создания вирт. канала). Т. е. используется либо коммутация каналов, либо коммутация пакетов.

- Frame Relay

Архитектура FR охватывает 2 уровня ЭМВОС:



- *Физический уровень*
- *Уровень звена данных* — доступ к каналу для канальных групп в режиме кадров (LAPF — Link Access Procedure for Frame mode bearer services)

### Основные отличительные особенности эксплуатации сетей

- X.25

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

- Возможность работать по каналам низкого качества (с вероятностью ошибки до 0.01)
- Небольшая скорость (1-10 Кбит/с), поэтому нет возможности интерактивной работы в реальном времени (время доставки пакетов случайное и относительно большое)
- Подключение к X.25 посредством адаптера X.25 или маршрутизатора, поддерживающего протоколы X.25
- Для увеличения расстояния между терминалами и PAD (до неск. км) используется интерфейс "токовая петля" или модемы  
*Примечание:* "токовая петля" — способ передачи информации с помощью измеряемых значений силы тока: отсутствие тока — значение SPACE (низкий уровень, логический ноль), наличие сигнала — значение MARK (высокий уровень, логическая единица), длительное отсутствие сигнала — значение BREAK (обрыв линии).
- **Frame Relay**
  - Требуются более надежные каналы связи в сравнении с X.25 (верть ошибки  $10^{-7}$  и ниже)
  - Эффективная передача неравномерно распределенного во времени трафика
  - Малое время задержки, скорости до 2 Мбит/с, эффективное использование пропускной способности каналов; интерактивный обмен оцифрованными речевыми сообщениями
  - Подключение к FR посредством адаптера FR, коммутатора или маршрутизатора, поддерживающего протоколы FR.
  - Наличие механизмов оповещения о перегрузке сети
  - Отсутствие механизмов коррекции искажений в кадрах (подразумевается, что это будут делать протоколы более высоких уровней; есть только поле контрольной суммы, которые проверяется на корректность: не корректно — кадр отбрасывается)

### **Форматы протокольных блоков данных и их хар-ка**

- X.25

Для X.25 ПБД — это кадр X.25/2 (LAPB):

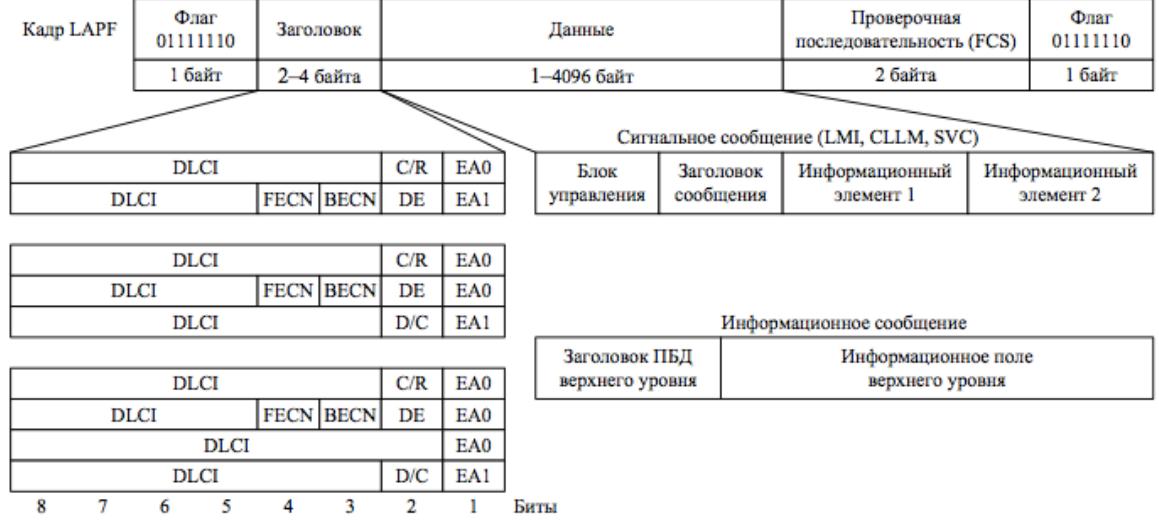
Флаг 01111110	Адрес	Управление	Данные (пакет)	CRC	Флаг 01111110
1 байт	1 байт	1-2 байта	1-1024 байта	2 байта	1 байт

Хар-ка:

- *Флаг* — разграничивает окончание предыдущего кадра и начало следующего (чтобы не было случайного совпадения флага с данными в инф. поле, пять единиц окружаются нулями, а приемник, обнаружив это, их изымает). Исп. флагов позволяет исп. кадры переменной длины (конкретную длину нигде не задаем).
- *Адрес* — исп. для идентификации команд и ответов (команды и ответы от АКД к ОД имеют адреса 11000000, а от ОД к АКД — 10000000)
- *Управление* — информация о типе кадра (информационный, супервизорный и ненумерованный)
- *Данные* — обычно содержит пакет сетевого уровня X.25 (X.25/3). Это поле имеется только в информационных кадрах

- *CRC* — проверочная пос-ть, предназначенная для исправления ошибок (если есть ошибка, отсылается запрос с просьбой прислать кадр повторно — это провоцирует задержки)
- Frame Relay

Для FR ПБД — это кадр LAPF:



Хар-ка:

- Флаг — аналогичен флагу кадра LAPB (X.25/2)
- Заголовок
  - DLCI — идентификатор виртуального канала, по которому пойдет данный кадр
  - C/R (Command/Response) – бит «опрос/финал» («команда/ответ») — зарезервирован для применения в протоколах более высокого уровня
  - EA (Extended Address) – бит расширения адреса. Если установлен в «0», то значит, что в следующем байте есть продолжение адреса. Если «1» — сигнализация о том, что заголовок закончился.
  - FECN (Forward Explicit Congestion Notification) – бит уведомления (сигнализации) приемника о явной перегрузке.
  - BECN (Backward Explicit Congestion Notification) – бит уведомления (сигнализации) источника о явной перегрузке.
  - DE (Discard Eligibility) – бит разрешения сброса. Устанавливается в «1» в случае явной перегрузки и указывает на то, что данный кадр может быть уничтожен в первую очередь.
- Проверочная пос-ть (FCS) — исп. для обнаружения ошибок. Если кадр получен с ошибкой, то он просто стирается.

### **Сравнение низкоскоростных технологий транспортных сетей по приведенным параметрам**

FR является продолжением X.25. Она была упрощена с целью повышения эффективности передачи данных по высокоскоростным и надежным цифровым каналам. В X.25 были низкие требования к среде передачи (высокая допустимая вертъ ошибки).

В отличие от X.25, во FR есть механизмы для сигнализации источника и приемника о перегрузках в сети (тогда они смогут уменьшить скорость, изменить маршруты следования кадров и т. п.).

Также, во FR исключена возможность исправления ошибок (если ошибка обнаружена — кадр просто стирается), в то время как в X.25 при обнаружении ошибки отсыпался запрос с просьбой переслать кадр повторно (что служило причиной задержек). Во FR ответственность за исправление ошибок возлагается на протоколы более высоких уровней.

Во FR также реализована возможность передачи голоса (VoFR — голос поверх FR).

*(интересная информация об X.25, Нестеренко рассказывал)*

X.25 предназначался для организации глобальных сетей на основе телефонных линий, но не получил развития из-за со временем становившихся низкими скоростей.

## Вопрос №14. Глобальные сетевые технологии

Осуществить сравнение глобальных сетевых технологий: типовые структуры и состав технологий; соответствие архитектур заданных технологий модели ЭМВОС; основные отличительные особенности эксплуатации сетей; форматы протокольных блоков данных; краткая характеристика полей протокольных блоков данных; сравнение глобальных сетевых технологий по приведенным параметрам.

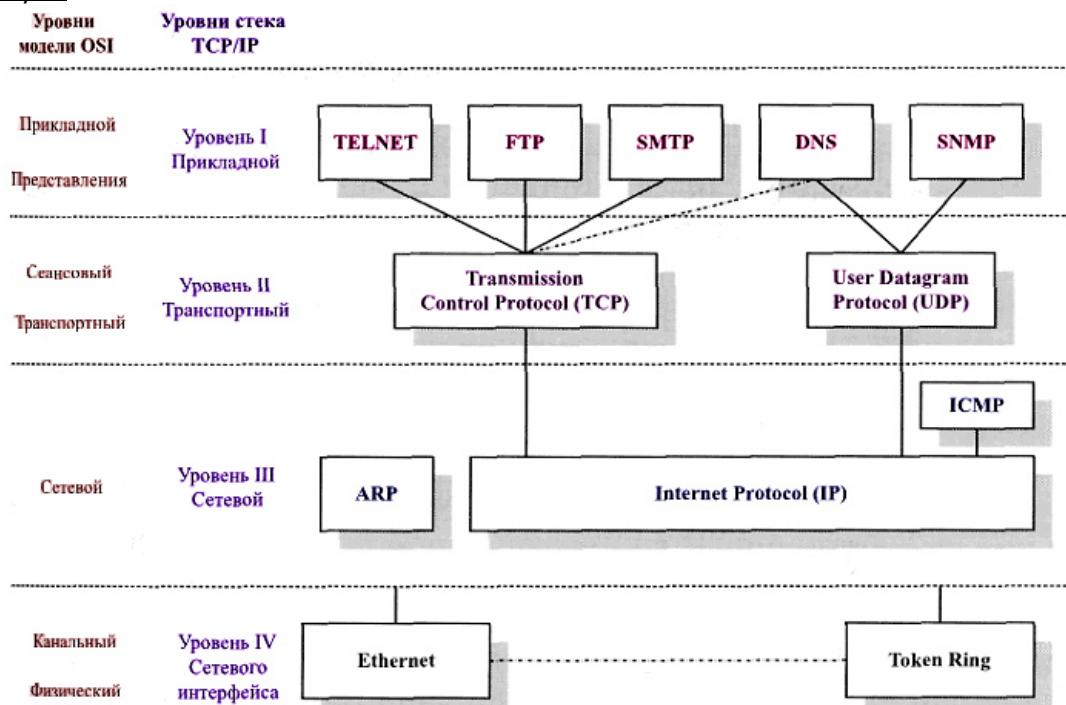
**Стек протоколов** — иерархически организованный набор сетевых протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети.

### **Состав технологий**

- TCP/IP — стандарт стека протоколов, разработанный для глобальных сетей.  
*Состоит из:*
  - IP (Internet Protokol) — протокол межсетевого взаимодействия, который реализует процесс передачи пакетов (основной элемент TCP/IP)
  - TCP/UDP — протокол управления передачей данных (обеспечивает надежность доставки информации и её целостность)
- MPLS — технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях.  
*Состоит из* принципа обмена метками (любой передаваемый пакет ассоциируется с классом сетевого уровня, каждый из которых идентифицируется определенной меткой). Цель — определение следующего маршрутизатора на пути к пункту назначения.

### **Структуры и соответствие архитектур заданных технологий модели ЭМВОС**

- TCP/IP

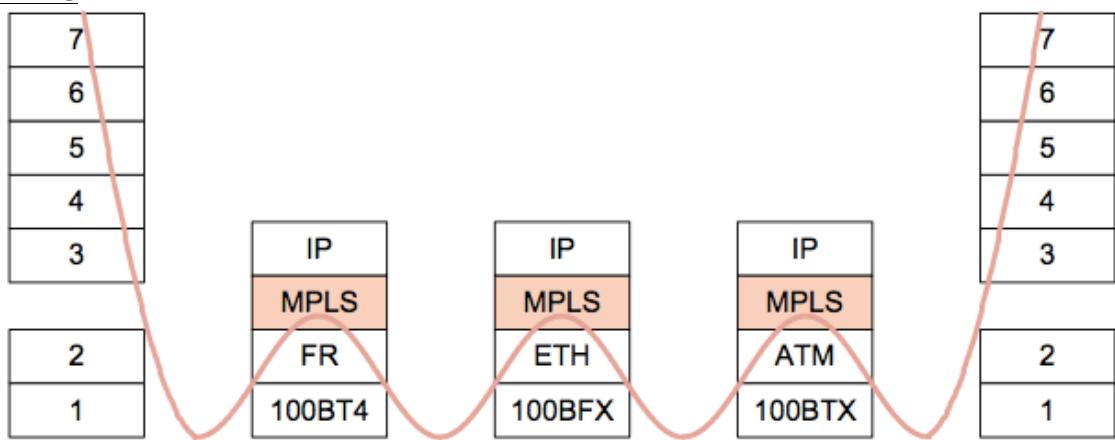


*Примечания:*

- ARP — протокол, предназначенный для определения MAC-адреса по известному IP-адресу.

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

- ICMP — протокол, использующийся для передачи сообщений об ошибках и других исключительных ситуациях
- MPLS



Технология MPLS является инкапсулирующей и может транспортировать другие протоколы. Она сочетает в себе возможность управления трафиком (соотв. технологиям 2-го уровня) и масштабируемость и гибкость протоколов (что характерно для 3-го уровня).

### **Основные отличительные особенности эксплуатации сетей**

Поскольку MPLS — это технология быстрой коммутации, опишем отличительные особенности сетей, построенных с использованием MPLS-коммутации и коммутации, использующей IP-маршрутизацию.

- Построенных на TCP/IP:

При маршрутизации направление передачи пакета определяется по данным маршрутной таблицы.

#### *Виды маршрутизации:*

- Статическая маршрутизация — в этом случае маршрутная таблица имеет ограниченный объем и имеет лишь данные о соседних оконечных установках (исп. в сетях, где число абонентов ограничено). Такая маршрутная таблица обычно составляется вручную администратором.
- Динамическая маршрутизация — в этом случае осуществляется постоянная корректировка маршрутных таблиц на основе данных, которыми маршрутизаторы обмениваются между собой. Такие маршрутные таблицы вычисляются с помощью алгоритмов маршрутизации (мы рассматривали Матричный и Дейкстры).

В таблице маршрутизации есть колонка “Destination”, “Gateway” и “Interface”. Модуль IP-протокола ищет в “Destination” IP-адрес, который находится в соотв. поле пакета и получает IP-адрес следующего шлюза (маршрутизатора) из колонки “Gateway” и идентификатор интерфейса из колонки “Interface” (выходной порт маршрутизатора, по которому пойдет пакет).

“Destination” может быть задано как “по умолчанию” — тогда пакет отправляется к маршрутизатору, IP-адрес которого задан в соответствующей колонке “Gateway” по соответствующему порту.

- Использующих MPLS:

Маршрутизаторы сети должны коммутировать пакеты по меткам:

- Первый пограничный маршрутизатор накладывает метку на пакет в зависимости от IP-адреса назначения или других параметров
- Следующие получают топологическую информацию о сети (расположение её элементов) и начинают взаимодействовать с соседними маршрутизаторами, распределяя метки, которые в дальнейшем будут исп. для коммутации. Это распределение формирует совокупность путей с коммутацией по меткам (базу информации о метках). Далее, пакету, приходящему на следующие маршрутизаторы по базе информации о метках сопоставляется выходная метка и он отправляется к следующему маршрутизатору.
- Последний маршрутизатор снимает метку и отправляет пакет в пункт назначения

У каждого маршрутизатора формируется база информации о метках (LIB), которая представляет из себя таблицу:

Вх. метка	Вх. порт	Префикс (IP адрес назначения)	Вых. порт	Вых. метка
-----------	----------	----------------------------------	-----------	------------

### Форматы протокольных блоков данных

- TCP/IP
  - TCP-сегмент/UPD-дейтаграмма
    - TCP

Бит	0 – 3	4 – 9	10 – 15	16 – 31
0	Порт источника			Порт назначения
32	Номер последовательности			
64	Номер подтверждения			
96	Длина заголовка	Зарезервировано	Флаги	Размер Окна
128	Контрольная сумма			Указатель важности
160	Опции (необязательное, но используется практически всегда)			
160/192+	Данные			

Хар-ка:

- *Порт источника и порт приемника* идентифицируют прикладные процессы отправителя и получателя
- *Номер пос-ти и номер подтверждения* — номер последнего переданного байта и ожидаемого байта.
- *Флаги:*
  - Срочность сообщения
  - Квитанция на принятый сегмент
  - Требования передачи сообщения без ожидания заполнения буфера
  - Запрос на переустановку соединения
  - Синхронизация счетчиков переданных данных при установлении соединения
  - Последний байт в передаваемом потоке данных
- *Размер окна* — размер данных в байтах, которые отправитель готов принять

- Контрольная сумма — определяется по сегменту и IP-адресам получателя и отправителя и др. данные IP-пакета
- Указатель важности — указание на окончание срочных данных

Длина заголовка может быть от 20 до 60 байт.

Общий размер сегмента может доходить до 65535 байт.

▪ UDP

Заголовок				Данные
16 бит	16 бит	16 бит	16 бит	
Адрес порта отправителя	Адрес порта получателя	Указатель длины	Контрольная сумма	

Хар-ка:

- Порты — те же, что и в TCP сегменте
- Указатель длина — полная длина сообщения
- Контрольная сумма — необходима для контроля за достоверностью

Длина заголовка составляет 8 байт.

Общий размер сегмента может доходить до 65535 байт.

*Примечание:* Поскольку размер заголовка UDP-дейтаграммы значительно меньше, она будет передаваться быстрее, чем TCP-сегмент. Но UDP протокол не контролирует доставку сообщений (поэтому и кол-во полей в заголовке меньше) в отличие от TCP (TCP при потере пакета запрашивает его повторно, а также устраняет дублирование). В UDP по приходе пакета лишь осуществляется проверка на его корректность (за это отвечает поле «Контрольная сумма»).

Поэтому, например, для потокового видео или онлайн-игр используется UDP-протокол (если один пакет не дойдет — ничего страшного).

В целом, TCP — передача с предварительным установлением соединения, UDP — передача без установления соединения.

○ IP-пакет

Бит	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
0	Версия	IHL	Тип обслуживания										Длина пакета																					
4	Идентификатор										Флаги		Смещение фрагмента																					
8	Время жизни (TTL)				Протокол				Контрольная сумма заголовка																									
12	IP-адрес отправителя										IP-адрес получателя																							
16	Параметры (от 0 до 10-и 32-х битных слов)										Данные																							

Хар-ка:

- Версия — IPv4/IPv6
- IHL (Internet Header Length) — длина заголовка IP-пакета
- Тип обслуживания — информация о требованиях к обслуживанию
- Длина пакета — общая длина IP-пакета (заголовок и данные).

- *Идентификатор* — используется для распознавания фрагментированных пакетов
- *Флаги*:
  - *DF* — требование не фрагментировать пакет
  - *MF* — пакет является промежуточным (фрагментом)
  - *Зарезервированный бит*
- *Смещение фрагмента* — смещение в байтах поля данных фрагмента относительно начала поля данных исходного нефрагментированного пакета.
- *Время жизни* — кол-во секунд, в течение которого пакет может перемещаться по сети (т. к. обычно маршрутизаторы не обрабатывают пакет дольше 1 секунды, TTL можно интерпретировать, как максимальное число транзитных узлов, через которые должен пройти пакет)
- *Протокол* — информация о протоколе верхнего уровня
- *Контрольная сумма* — рассчитывается только по заголовку (на каждом маршрутизаторе заголовок меняется, поэтому контрольная сумма рассчитывается заного)
- *Параметры* — это поле необязательно и обычно используется при отладке сети

Длина заголовка составляет от 20 до 60 байт.

Общий размер пакета может доходить до 65535 байт.

*Примечание:* длины сегментов и пакетов теоретически могут доходить до 65535 байт, но на практике, чтобы избежать фрагментации (её поддерживают не все устройства), выбираются такие длины, чтобы пакеты целиком уместились в кадры. Если это Ethernet, за максимум берется 1500 байт. В общем же случае считается, что все хосты и технологии должны работать с пакетами до 576 байт длиной.

#### - MPLS

ПБД для MPLS — это MPLS-метка (стек меток). Она вставляется между заголовком второго уровня и его полем данных (заголовок 3-го уровня + данные)

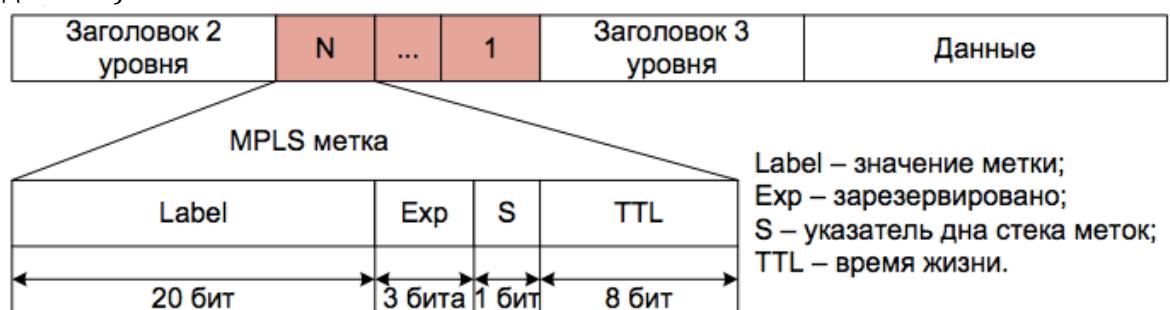


Рис. 3. Формат метки MPLS

Метки уникальны только для участка пути между двумя маршрутизаторами. Результат коммутации задает лишь верхняя метка стека.

#### **Сравнение глобальных сетевых технологий по приведенным параметрам**

MPLS значительно упрощает процесс продвижения пакетов в магистрали, поскольку на промежуточных маршрутизаторах происходит не обычная маршрутизация, а высокоскоростная коммутация на основе информации о метке.

С метками работать гораздо проще и быстрее: не нужно полностью разбирать/собирать IP-пакет — метку извлечь просто, она находится прямо перед заголовком IP-пакета.

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

## Вопрос №15. Сети абонентского доступа

Осуществить сравнение сетей абонентского доступа: проблемы абонентского доступа; пути решения проблемы «последней мили»; пояснить модель среды передачи с ограниченной пропускной способностью; основные отличительные особенности реализации сетей абонентского доступа; физическая сущность шкал расстояний и скоростей передачи данных; краткая характеристика технологий проводного абонентского доступа; краткая характеристика технологий построения беспроводных сетей передачи данных; алгоритмы расширения спектра используемые в беспроводных сетях передачи данных; сравнение сетей абонентского доступа по приведенным параметрам.

### **Проблемы абонентского доступа**

- Основная проблема — «Проблема последней мили» — обеспечение доступа множества высокоскоростных абонентских систем и локальных сетей к высокоскоростным магистралям по реальным существующим и прокладываемым физическим каналам с ограниченной пропускной способностью.
- Также, при передаче по медно-кабельным линиям происходят искажения из-за неидеальности условий ⇒ появляются помехи, мощность которых растет с увеличением длины проводов.

### **Пути решения проблемы «последней мили»**

В данный момент существует 4 пути решения проблемы «последней мили»:

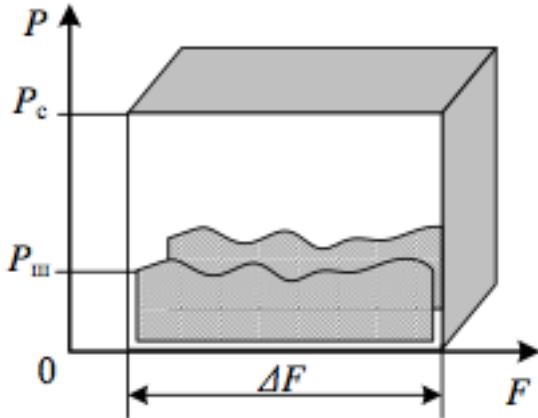
- *Строительство волоконно-оптических линий связи на абонентском участке.* Есть несколько направлений:
  - FTTB (Fiber To The Building) – оптика до здания
  - FTTO (Fiber To The Office) – оптика до офиса
  - FTTZ (Fiber To The Zone) – оптика до некоторой зоны, где группируются абоненты
  - FTTA (Fiber To The Apartment) – оптика до квартиры
  - FTTC (Fiber To The Curb) – оптика до кабельного шкафа
  - FTTOpt (Fiber To The Optimum) – оптика до некоторой оптимальной точки
- *Строительство (прокладка) медно-кабельных абонентских линий:* простое проектирование, наличие опытного персонала по строительству и эксплуатации, приемлемая стоимость; но дорогое обслуживание и ограниченная по сравнению с ВОЛС пропускная способность при тех же трудовых и временных затратах на строительные работы.
- *Уплотнение существующих (медно-кабельных) абонентских линий.* Используется до сих пор. Уплотнение (добавление цифровых потоков) происходит посредством использования различных xDSL технологий. (вспоминаем 1-ый пункт З-го ДЗ)
- Использование технологий беспроводного абонентского доступа: WLL (Wireless Local Loop). WLL-технологий существует большое множество. Две основные группы: технологии подвижной (мобильной) связи (сотовая, спутниковая и т. п.) и технологии фиксированной связи (Wi-Fi и т. п.).

### **Пояснить модель среды передачи с ограниченной пропускной способностью**

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

На данной модели символически изображена физическая среда передачи в виде туннеля.  $\Delta F$  — ширина (ширина спектра), а  $P_c$  — высота, которыми ограничена среда. Эти ограничения формируют ограничение максимально возможной скорости передачи среды  $V_{\max}$ .

Проход по среде сигнала осложняется наличием помех с уровнем  $P_{ш}$ .



Задача систем передачи — реализация такого алгоритма формирования и обработки сигналов, который бы позволил передать через «туннель» как можно больше информации в единицу времени.

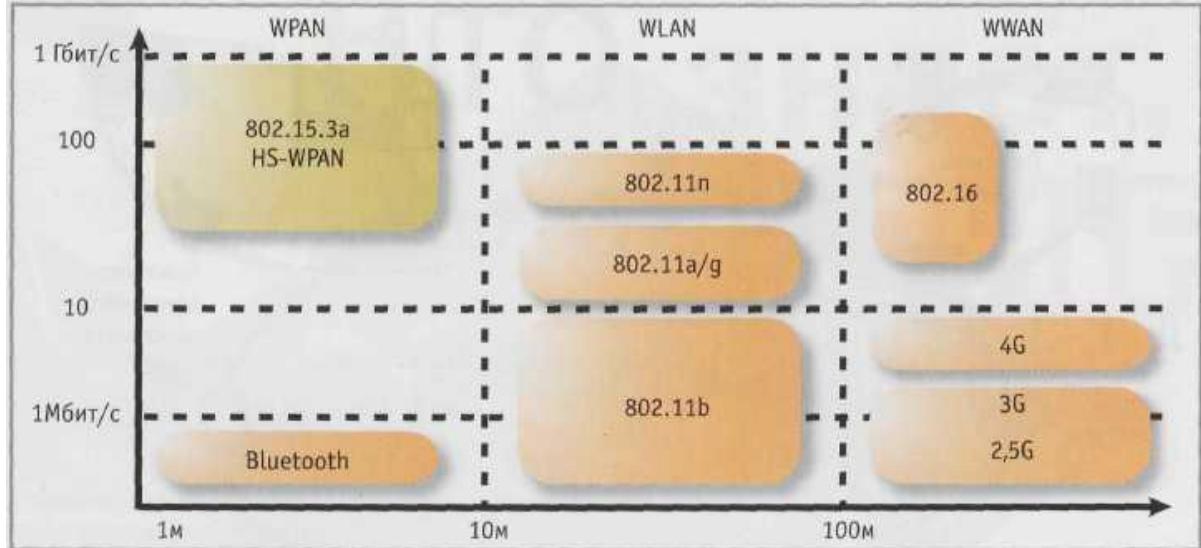
### **Основные отличительные особенности реализации сетей абонентского доступа**

Рассмотрим 3 реализации и их особенности:

- *Проводной доступ на базе оптоволокна*: передача сигналов посредством световых импульсов.
  - 4 концепции:
    - IPOS — интегрированная оптоволоконная система.
    - 3 фазы:
      - Большое кол-во узкополосных цифровых каналов (ОЦК)
      - Добавляются широкополосные каналы (симплекс)
      - Предоставление дуплексных широкополосных каналов
    - TRON — телефония на базе пассивных оптических сетей
    - BPON — широкополосные сети на базе пассивных оптических сетей
    - BIDS — широкополосная интегрированная «звездообразная» сеть доступа (к каждому окончанию оптоволокна)
- *Проводный доступ на базе медного кабеля xDSL*:
  - Симплексная передача (UDSL): передача в разных направлениях по разным парам
  - Дуплексная передача: передача по одной паре в прямом и обратном направлениях
    - Симметричные технологии (SDSL) — скорости одинаковые в обоих направлениях
    - Асимметричные технологии (ADSL) — скорость передачи в прямом направлении намного выше, чем в обратном
- *Беспроводные сети*: меньшая скорость и качество (беспроводные сети всегда хуже проводных при равных условиях), большая доступность. Передача сигнала посредством радиоволн.
  - Персональные сети (WPAN): расстояния до 10 метров (Bluetooth, UWB)

- Локальные сети (WLAN): расстояния до 100 метров, схемы подключения — либо с базовой станцией, либо Mesh-сеть (Wi-Fi: 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n)
- Глобальные сети (WWAN): расстояния более 100 метров (2.5G, 3G, 4G, WiMAX)

### Физическая сущность шкал расстояний и скоростей передачи данных



*Физическая сущность данной шкалы:*

В зависимости от расстояния беспроводные сети делятся на

- Персональные (Bluetooth и т. д.)
- Локальные (Wi-Fi спецификаций a/b/g/n)
- Глобальные (2.5 G, 3G, 4G, WiMAX)

Внутри групп сети делятся по скоростным хар-ам.

### Краткая характеристика технологий проводного абонентского доступа

- ЛАН (Local Area Network) — группа технологий, предназначенных для предоставления корпоративным пользователям услуг доступа к ресурсам локальных вычислительных сетей и использующих в качестве среды передачи структурированные кабельные системы категорий 3, 4 и 5, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель
- КТВ (кабельное телевидение) – группа технологий, предназначенных для предоставления пользователям сетей КТВ мультимедийных услуг (за счет организации обратного канала) и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный и коаксиальный кабели.
- OAN (Optical Access Networks) – группа технологий, предназначенных для предоставления пользователям широкополосных услуг, линии доступа к мультимедийным услугам и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный кабель.
- СКД (сети коллективного доступа) – группа гибридных технологий для организации сетей доступа в многоквартирных домах; в качестве среды передачи используется существующая в домах инфраструктура ТФОП, радиотрансляционных сетей и сетей электропитания.
- DSL (Digital Subscriber Line) – группа технологий, предназначенных для предоставления пользователям ТФОП услуг мультимедиа и использующих в качестве среды передачи существующую инфраструктуру ТФОП.

### Характеристики основных xDSL-технологий

Шифр	Скорость передачи	Длина (без регенераторов)	Особенности
DSL	До 160 кбит/с	До 7,5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Дуплексная передача по одной медной паре. Первоначально – для реализации U-стыка BRI ISDN
IDSL	До 128 кбит/с	До 7,5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Дуплексная передача по одной медной паре для доступа в Internet, минуя коммутатор каналов ISDN
HDSL	768/1024 кбит/с по одной паре; 2048 кбит/с по двум-трем парам медного кабеля	От 5 км (диаметр провода 0,5 мм) до 18 км (диаметр провода 1,2 мм)	Прием и передача группового сигнала по одному многожильному кабелю. Первоначально – для реализации U-стыка PRI ISDN
SDSL (MDSL, MSDSL, G.shdsl)	160–2320 кбит/с	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Рекомендуется для замены HDSL. Наиболее популярная группа симметричных технологий
ADSL (CDSL)	До 6,144 Мбит/с (из сети); до 640 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Рекомендуется для доступа к услугам Internet с сохранением телефонного канала
UADSL	До 1,536 Мбит/с (из сети); до 384 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Простота и установки и эксплуатации. Использование – аналогично ADSL
RADSL	До 8,192 Мбит/с (из сети); до 640 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Автоматически подбирается наиболее подходящая скорость передачи в соответствии с условиями в линии
VDSL	До 51 Мбит/с (из сети); до 1,6 Мбит/с (от абонента)	До 100–300 м в зависимости от скорости и диаметра провода	Самая высокоскоростная технология доступа (например, к сети ATM). Может использоваться в подсети абонентских линий для наращивания оптического кабеля

### Алгоритмы расширения спектра используемые в беспроводных сетях передачи данных

Задача — перейти от узкополосного спектра сигнала к широкополосному с целью значительного повышения помехоустойчивости передаваемых данных.

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum — передача широкополосных сигналов по методу частотных скачков): используются 79 каналов шириной 1 МГц каждый. Для определения последовательностей скачков частот используется генератор псевдослучайных чисел. Поскольку при этом для всех станций используется один и тот же генератор, они синхронизированы во времени и одновременно осуществляют одинаковые частотные скачки. Период времени, в течение которого станция работает на определенной частоте, называется временем пребывания. Это настраиваемая величина, но она должна быть не более 400 мс.

*Главный недостаток:* низкая пропускная способность.

*Плюсы:*

- Постоянная смена частот является хорошей защитой от несанкционированного прослушивания (не зная по-сти частотных переходов и времени пребывания, нельзя всегда правильно определять частоту).
- Борьба с проблемой многолучевого затухания при связи на длинных дистанциях
- DSSS — каждый бит передается в виде элементарных сигналов, которые называются последовательностью Баркера. Информационный бит,

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

представляемый прямоугольным импульсом, разбивается на последовательность более мелких импульсов-чипов. В результате спектр сигнала значительно расширяется. Исходный сигнал становится шумоподобным. На приемнике принятая комбинация умножается на код Баркера и сигнал становится узкополосным.

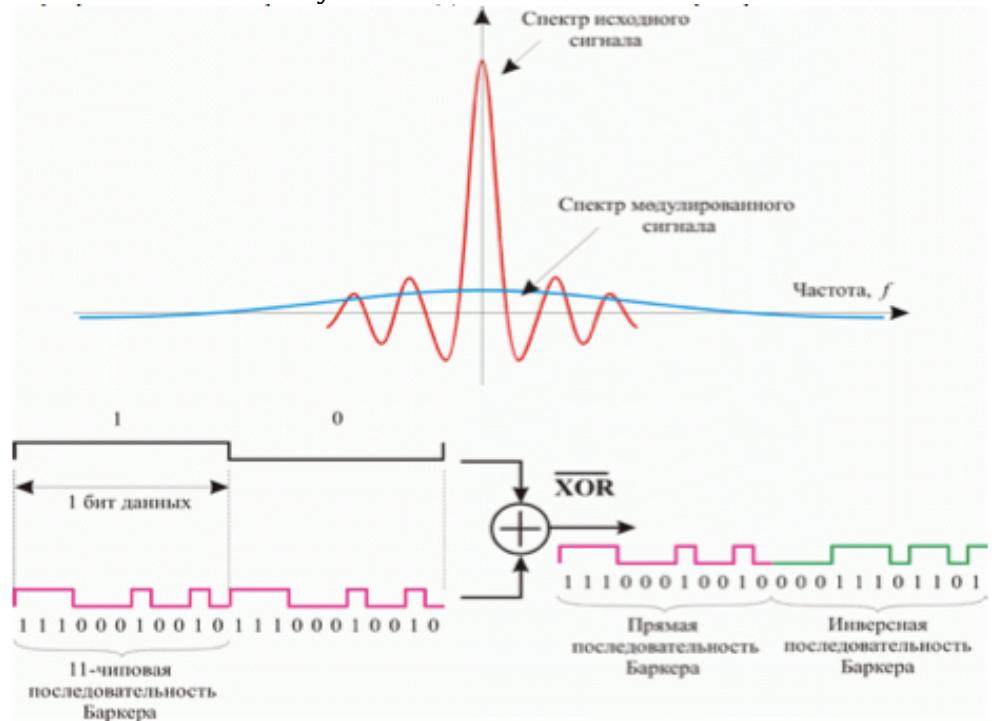


Рис. 3. Изменение спектра сигнала при добавлении шумоподобного кода.

### Сравнение сетей абонентского доступа по приведенным параметрам

Можно отметить, что при равных условиях проводный доступ останется всегда лучше беспроводного (качество передачи, скорость). Это обусловлено значительно разным количеством помех, возникающих в средах передачи.

Также можно сказать, что проводный доступ оказывается лучше в плане защищенности, поскольку получить доступ к электрическим импульсам, протекающим внутри конкретного кабеля, намного сложнее, чем "прослушивать" радиоволны, распространяемые в воздухе.

С другой стороны, беспроводный доступ намного мобильнее проводного, в связи с чем в труднодоступных для кабельных систем территориях он оказывается необходим.

### Типы кабелей

(в вопросе нет, но Нестеренко много раз упоминал — возможно, спросит расшифрофики)

- Витая пара (twisted pair) — скрученная пара проводов (скручивание снижает помехи на сигнал)

*По экранированию:*

- Экранированная (Shielded Twistedpair, STP) — обертка в изоляционный экран
- Неэкранированная (Unshielded Twistedpair, UTP) — изоляционная обертка отсутствует (все выпускаются в 4-х парном исполнении: обычно две для голоса, две для данных; используют 8-контактные вилки и розетки RJ-45)

*По категориям:*

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

- Категория 1 — минимальные требования к скорости (цифровая или аналоговая передача голоса — до 20 Кбит/с)
  - Категория 2 — способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц
  - Категория 3 — для частот в диапозоне до 16 МГц (как передача данных, так и голоса)
  - Категория 4 — для частот в диапозоне до 20 МГц (повышенная помехоустойчивость и низкие потери сигнала)
  - Категория 5 — для частот в диапозоне до 100 МГц (высокоскоростная передача: используются FastEthernet, GigabitEthernet, ATM)
  - Категория 6 — для частот в диапозоне до 200 МГц
  - Категория 7 — для частот в диапозоне до 600 МГц (обязательное экранирование: как каждая пара, так и весь кабель целиком)
- Первые 5 категорий — неэкранированные кабели, 7-ая — экранированные, 6-ая — и экранированные и не экранированные.
- Каоксиальный кабель (coaxial) — состоит из внутренней медной жилы и оплетки, отделенной слоем изоляции
    - RG-8 и RG-11 — толстый (диаметр 2.17 мм) каоксиальный кабель (разработанный для сетей Ethernet 10Base-5). Плохо гнется, но обеспечивает малое затухание сигнала.
    - RG-58/U, RG-58 A/U и RG-58 C/U — тонкий (диаметр 0.89 мм) каоксиальный кабель (разработанный для сетей Ethernet 10Base-2).
    - RG-59 — телевизионный кабель с сопротивлением 75 Ом.
  - Волоконно-оптический кабель (optical fiber) — тонкие волокна, по которым распространяются сигналы
    - Многомодовое волокно (Multi Mode Fiber, MMF) — со ступенчатым изменением показателя преломления
    - Многомодовое волокно (Multi Mode Fiber, MMF) — с плавным изменением показателя преломления
    - Одномодовое волокно (Single Mode Fiber, SMF) — диаметр сопоставим с длиной волны (отражения практически отсутствуют). Сложно изготавливать, очень широкая полоса пропускания.

## Вопрос №16. Сотовые сети подвижной связи

Осуществить сравнение сотовых сетей подвижной связи: классификация и обобщенная концептуальная модель зоновых сетей подвижной связи; физическая сущность принципа повторного использования частот; основные принципы и варианты множественного доступа; физическая сущность широкополосных систем связи; основные отличительные особенности реализации заданных сотовых сетей подвижной связи; функциональное построение сотовых сетей подвижной связи; сравнение сотовых сетей подвижной связи по приведенным параметрам.

### **Классификация и обобщенная концептуальная модель зоновых сетей подвижной связи**

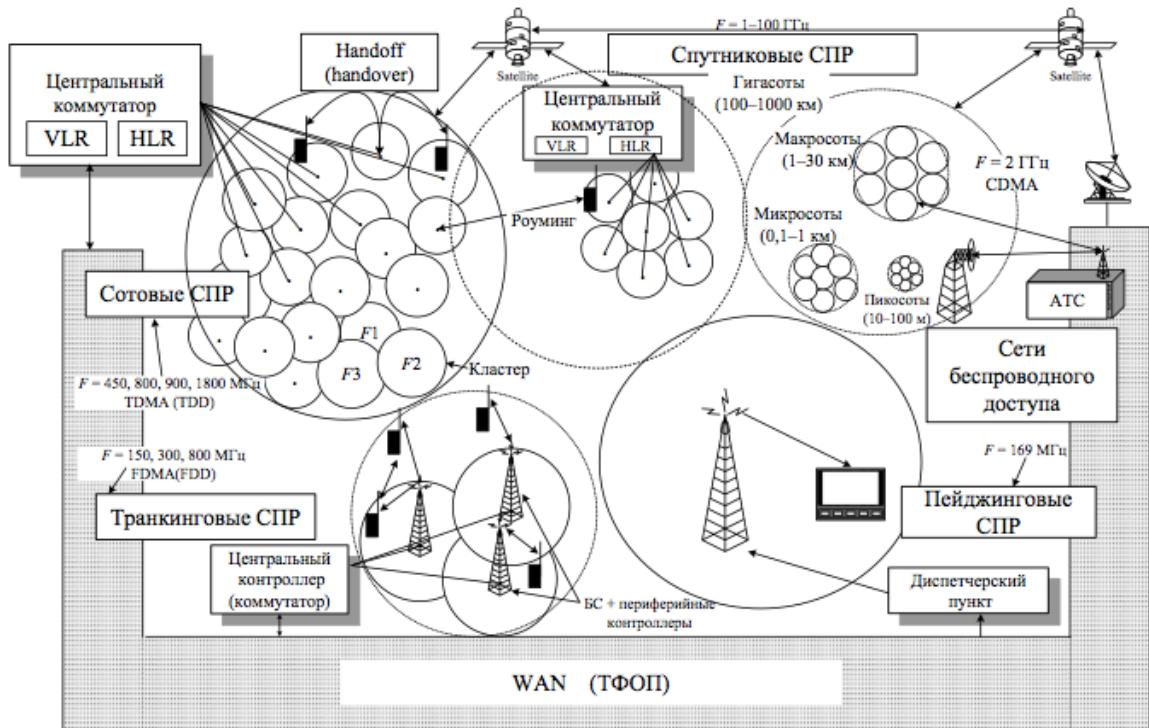


Рис. 1. Концептуальная модель зоновых СПР

#### **Обозначения:**

- VLR — регистр перемещения
- HLR — регистр положения
- Handoff (handover) — “эстафетная передача” обслуживания между базовыми станциями
- Кластер — компактная совокупность БС, работающих на не повторяющихся частотах

Классификация также отражена на данном рисунке.

#### **Физическая сущность принципа повторного использования частот**

В соседних ячейках сотовой системы связи используются разные полосы (группы) частот, а через несколько ячеек эти полосы повторяются. Это реализуется для того, чтобы “шумовой” радиус действия (определяют радиус, где БС в состоянии обслужить абонентов, и радиус, где БС не может обслужить абонентов и действует только как помеха) одной БС не пересекался с радиусом действия другой БС, работающей на той же частоте (в этом случае будет происходить перекрывание сигналов).

**Кластер** — это совокупность ячеек, частотные каналы в которых не повторяются.

## **Основные принципы и варианты множественного доступа**

**Множественный доступ** — организация совместного использования ограниченного участка спектра частот многими пользователями.

Варианты множественного доступа:

- **Множественный доступ с частотным разделением (МДЧР, FDMA)**

*Принцип:* каждому пользователю во время сеанса связи выделяется своя полоса частот. Одна полоса частот  $\sim 10 - 30$  кГц.

*Недостаток* — недостаточно эффективное использование полосы частот. Использовался во всех аналоговых системах сотовой связи (системы первого поколения).

- **Множественный доступ с временным разделением (МДВР, TDMA)**

*Принцип:* каждый частотный канал по очереди предоставляется нескольким пользователям на определенные промежутки времени. Т. о. в одном частотном канале реализуется несколько физических каналов.

*Недостаток* — необходимость преобразования в цифровую форму с последующей обработкой и сетевой синхронизации.

По эффективности исп. спектра превосходит FDMA.

- **Множественный доступ с кодовым разделением (МДКР, CDMA)**

*Принцип:* большая группа пользователей (30-50) одновременно использует общую относительно широкую полосу частот (не менее 1МГц). Используются широкополосные шумоподобные сигналы (в цифровой форме).

*Недостаток* — сложность построения и практической реализации.

- **Множественный доступ с пространственным разделением (МДПР)**

*Принцип:* использование секторных антенн, которые разделяют круговые зоны доступа на несколько секторов.

## **Физическая сущность широкополосных систем связи**

Она заключается в расширении полосы частот сигнала, передаче широкополосного сигнала и выделении из него полезного сигнала путем преобразования спектра принятого широкополосного сигнала в первоначальный спектр информационного сигнала.

Формирование сигнала с расширенным спектром осуществляется путем двойной модуляции несущей передаваемым информационным сигналом и широкополосным кодирующим сигналом.

## **Основные отличительные особенности реализации заданных сотовых сетей подвижной связи**

- **GSM**

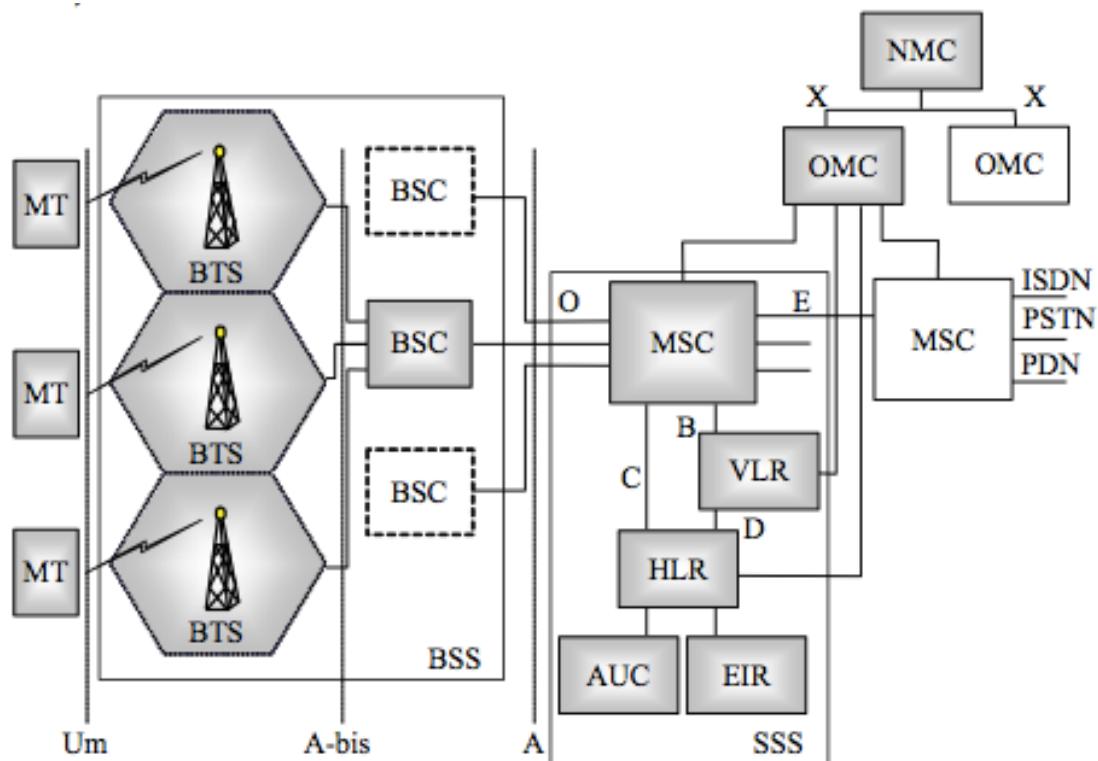
- Работа подвижных станций в диапазоне 890..915 МГц и БС в диапазоне 935..960 МГц — разнос в 45 МГц. Эти диапазоны разбиты на 124 частотных канала по 200 КГц
  - Используется узкополосный доступ с временным разделением каналов (структура TDMA-кадра содержит 8 временных позиций для физических каналов, т. о. общая емкость стандарта равна  $124 * 8 = 992$  канала)
  - Для защиты от ошибок применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением
  - Используется гауссовская манипуляция с минимальным сдвигом
  - Сообщения шифруются по алгоритму шифрования с открытым ключом (RSA)

- **CDMA**

- Расширение спектра сигналов методом прямой пос-ти (DSSS)
- Борьба с многолучевостью (многолучевость в случае с CDMA становится «помощником»)
- Управление мощностью сигнала
- Использование ортогональных кодов Уолша (это коды, сформированные из строк матрицы Уолша — такой матрицы, в которой каждая строка ортогональна любой другой строке или любой строке, к которой применено логическое отрицание)
- Реализация мягкой «эстафетной передачи» (абонентское устройство имеет 4 канала приема: в 3-х одновременно обрабатываются наиболее сильные сигналы, а в 4-м постоянно ищется наиболее сильный — они складываются и реализуют временное разнесение приема) — абонент, в случае выхода из зоны действия одной БС моментально переключится и будет работать с другой.

### Функциональное построение сотовых сетей подвижной связи

- GSM



Элементы:

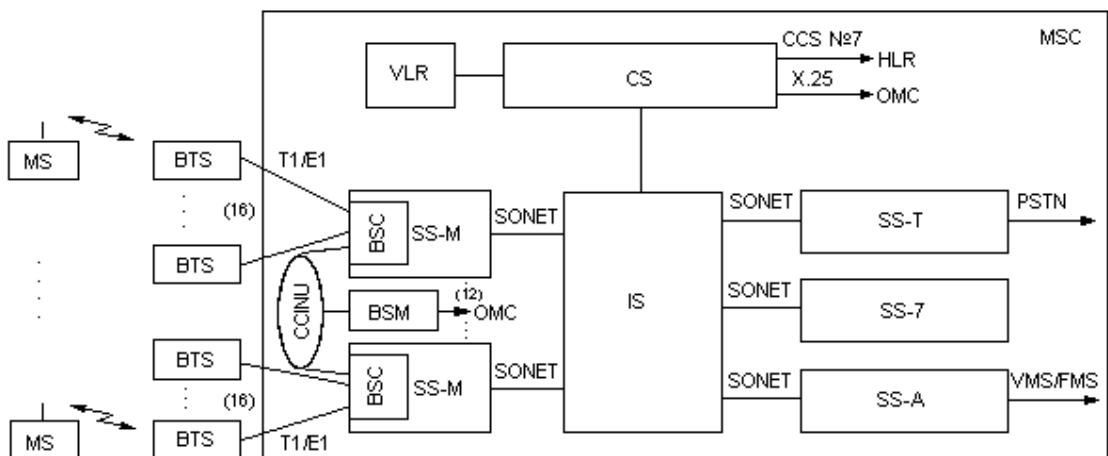
- BSS — оборудование базовой станции
  - BTS — базовая станция
  - BSC — контроллер базовой станции
- HLR — регистр положения
- VLR — регистр перемещения
- MT — мобильные терминалы
- MSC — центр коммутации подвижной связи (обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений между подвижными и стационарными пользователями (также есть постоянное “слежение” за подвижными станциями, используя регистр положения (HLR) и регистр перемещения (VLR)))
- AUC — центр аутентификации

- EIR — регистр идентификации оборудования (использовался раньше, когда была привязка сим-карты к IMEI)
- ОМС — центр управления и обслуживания (распределение ф-ий и организация взаимодействия между BSS и MSC)

*Интерфейсы (внешние):*

- Соединение с PSTN (соединение с ТФОП по линии 2 Мбит/с)
- Соединение с ISDN (через линии 2 Мбит/с)
- Соединение с PDN (соединение с международными сетями GSM)

- CDMA



CS - подсистема управления  
IS - подсистема внутренней связи  
SS-M - подсистема коммутации мобильной связи  
SS-T - подсистема коммутации соединительных линий  
SS-7 - подсистема коммутации SS №7  
SS-A - подсистема коммутации ARS  
BSM - управление мобильными станциями  
CCINU - центральное внутрисетевое устройство  
BSC - контроллер базовой станции

MS - подвижная станция  
BTS - базовая станция  
MSC - центр коммутации подвижной связи  
HLR - регистр положения  
VLR - регистр перемещения  
OMC - центр управления и обслуживания  
PSTN - телефонная сеть общего пользования  
VMS - система речевой почты  
FMS - система факсимильной связи

### **Сравнение сотовых сетей подвижной связи по приведенным параметрам**

В отличие от GSM в CDMA передаваемую информацию не делят на более узкополосные каналы по частотному или временному признаку, а кодируют и преобразуют в широкополосный шумоподобный сигнал (на приемной стороне идет его выделение с помощью такого-же кода). Т. о. в широкой полосе частот можно передавать и принимать сигналы, не мешающие друг другу.

В CDMA возможна «эстафетная передача» за счет того, что для каждого абонента задействована не одна БС, а несколько, в связи с этим реализуется более качественная связь, в тоже время занятие нескольких БС получается более затратным.

## Вопрос №17. Подвижная персональная спутниковая связь

Осуществить сравнение технологий построения сетей подвижной персональной спутниковой связи: обобщенная концептуальная модель зоновых сетей подвижной связи; физическая сущность принципа повторного использования частот; классификация, структура и элементы систем спутниковой связи; используемые диапазоны частот спутниковых систем и примеры их практического использования; основные принципы обеспечения связи между зонами; отличительные особенности реализации технологий построения спутниковых систем навигации.

### **Обобщенная концептуальная модель зоновых сетей подвижной связи**

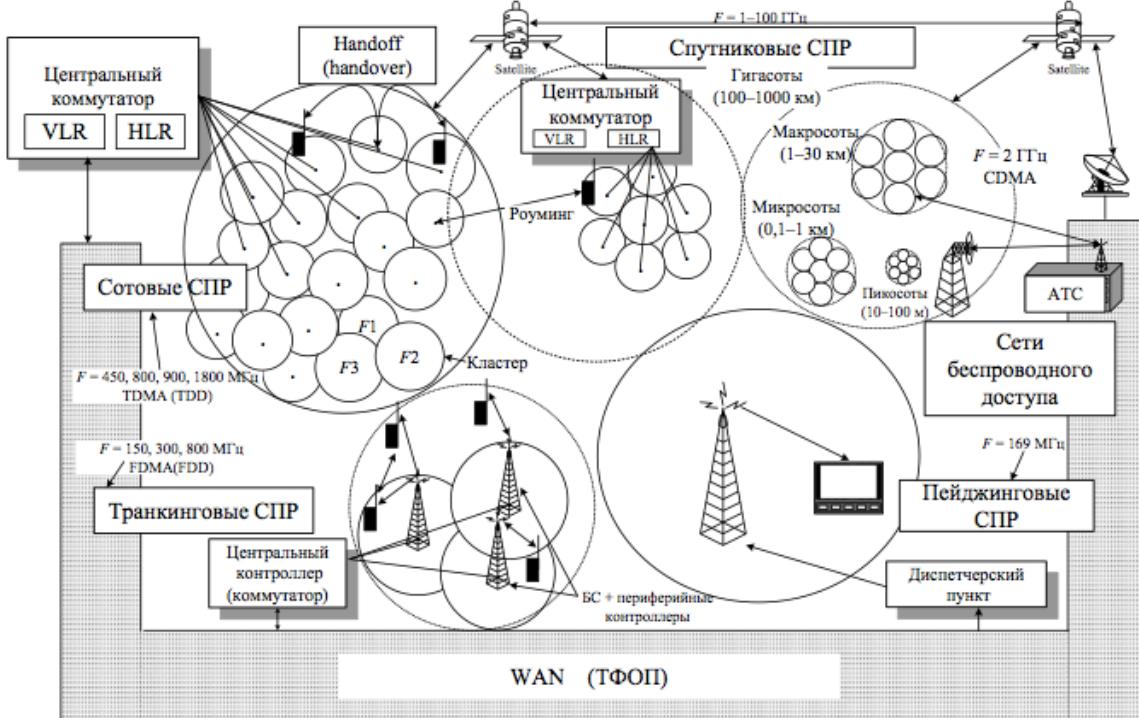


Рис. 1. Концептуальная модель зоновых СПР

### **Физическая сущность принципа повторного использования частот**

Для повторного исп. частот в спутниковой связи необходимо (либо одно, либо другое):

- Пространственное разделение (каждая антенна спутника принимает сигнал только с определённого района, при этом разные районы могут использовать одни и те же частоты)
- Поляризационное разделение (различные антенны принимают и передают сигнал во взаимно перпендикулярных плоскостях поляризации, при этом одни и те же частоты могут применяться два раза (для каждой из плоскостей))

### **Классификация, структура и элементы систем спутниковой связи**

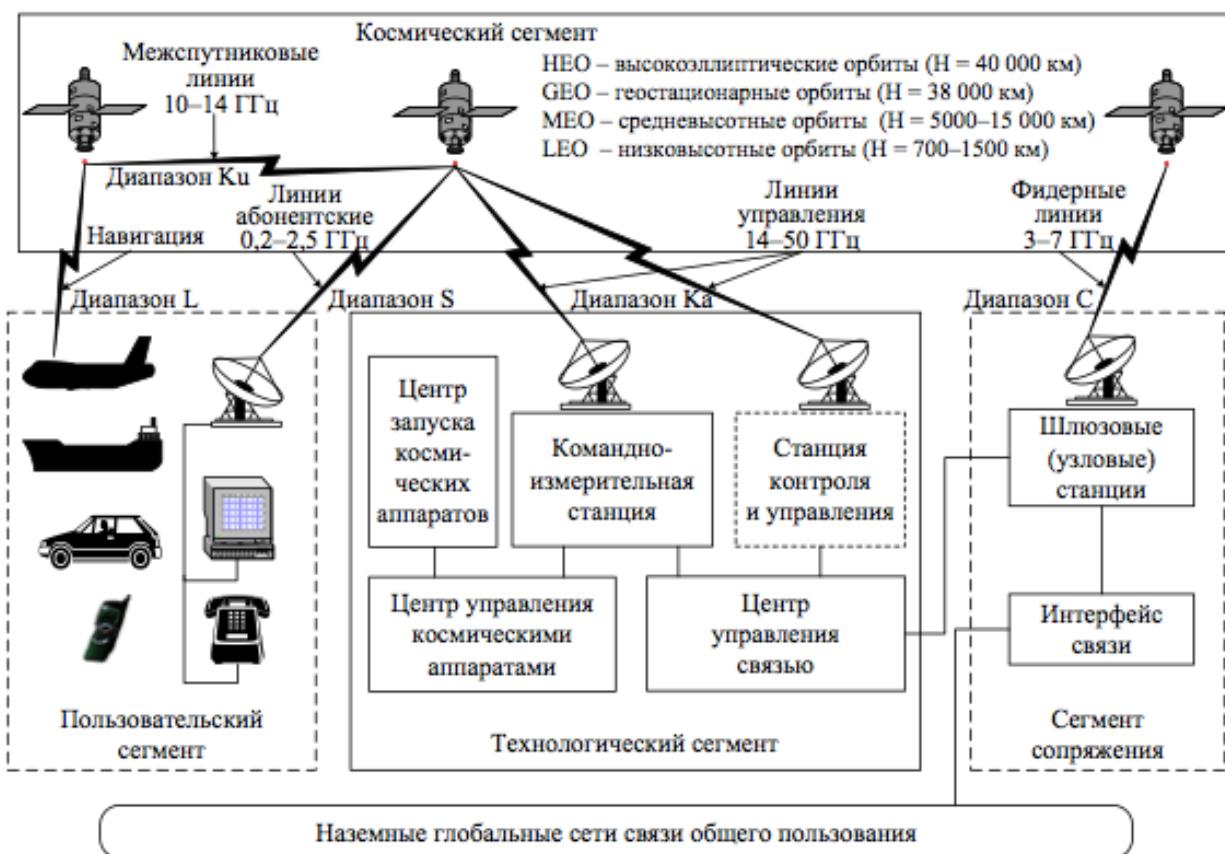
#### Классификация:

- По типу искусственных спутников Земли (ИСЗ)
  - На высокоэллиптической орбите (HEO)
  - На геостационарной орбите (GEO): высота орбиты — 36 тыс. км.
  - На средневысотной орбите (MEO): высота орбиты — 10-20 тыс. км.
  - На низковысотной орбите (LEO): высота орбиты — 700-2000 км.
- По типу заемных станций (ЗС)
  - Стационарные (расположенные в фиксированных точках)

Автор не несет ответственности за полученную на экзамене оценку

- Подвижные (расположенные на подвижных объектах: корабли и т. п.)
- По обслуживаемой территории, размещению и принадлежности земных станций:
  - Международные
    - Глобальные
    - Региональные
  - Национальные
  - Ведомственные
- По виду передаваемой информации:
  - Телевизионные
  - Радиовещательные
  - Навигационные
  - Передача данных
  - Многоканальная телефония
- По назначению:
  - Фиксированная (связь между станциями)
  - Радиовещательная (прием радио/телеPROGRAMM на терминалы)
  - Подвижная (связь между подвижными станциями)

Структура и элементы ССС:



**Используемые диапазоны частот спутниковых систем и примеры их практического использования**

Диапозон	Полоса частот, ГГц	Пример использования
L	1,452–1,500 и 1,61–1,71	Используется в пользовательском сегменте (персональные спутниковые терминалы)
S	1,93–2,70	Используется в технологическом сегменте (центры управления связью, запуска космических аппаратов и т. п.)
C	3,40–5,25 и 5,725–7,075	Используется в сегменте сопряжения (шлюзовые станции)
Ku	10,70–12,75 и 12,75–14,80	Используется в космическом сегменте (спутники-ретрансляторы)
Ka	14,40–26,50 и 27,00–50,20	Используется там же, где и S-диапозон
K	84,00–86,00	

### Основные принципы обеспечения связи между зонами

Для разных систем спутниковой связи применяются различные реализации связи между зонами:

- Межспутниковая (связь каждого спутника со смежными спутниками): Iridium
- Связь через станцию сопряжения (наземные станции, ретранслирующие сигнал): Globalstar, Inmarsat-ICO, Thuraya
- Коммутация на борту: Thuraya
- Перенос на КА с запоминанием: «Гонец»

### Отличительные особенности реализации технологий построения спутниковых систем навигации

Рассмотрим 2 системы навигации: NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС:

В NavStar GPS используется 24 спутника, равномерно размещенных на 6 круговых орбитах под углом 55 градусов. Период обращения — 12 часов, высота — 20 183 м.

В ГЛОНАСС также используется 24 спутника, но они располагаются на 3-х более устойчивых орбитах, наклоненных под углом уже в 64,8 градусов. Период обращения чуть меньше — 11 ч. 15 мин. 44 с. Высота также чуть меньше — 19 100 м.

В целом NavStar GPS и ГЛОНАСС отличаются немногим.