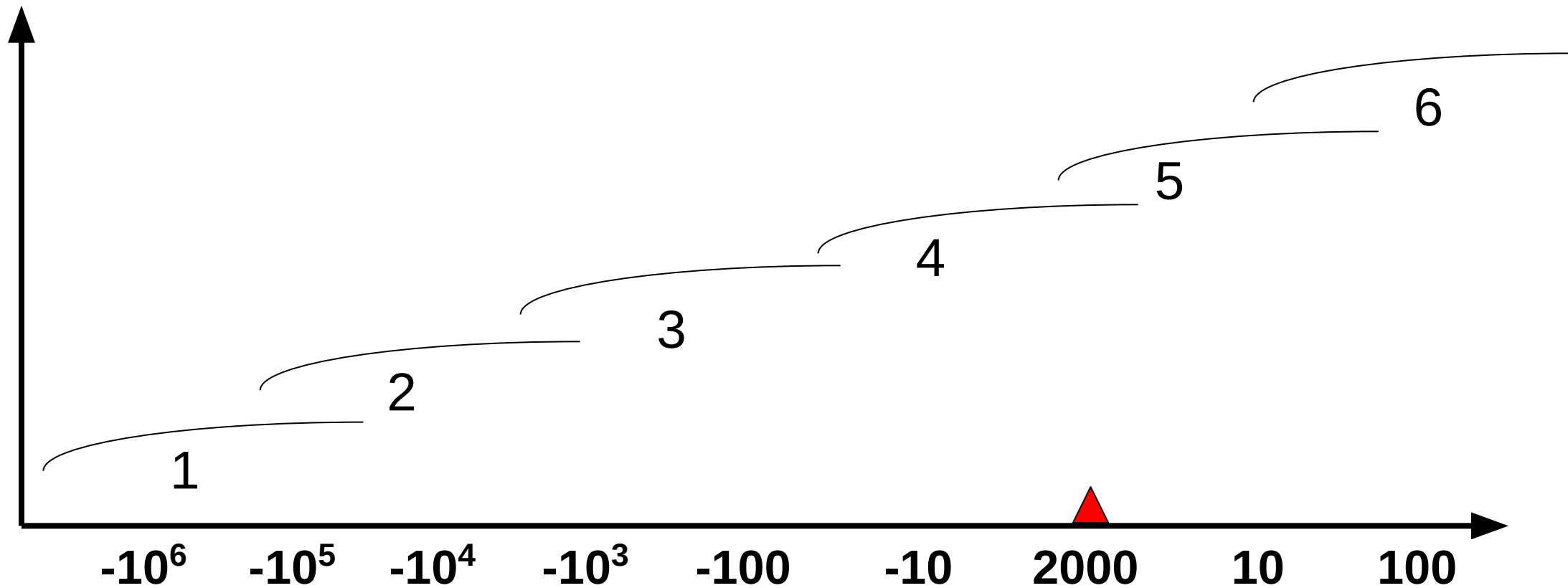


1. Инфокоммуникационные системы

(Общие сведения)

Глобальные революции в истории человечества



1 – изготовление орудий
2 – сельскохозяйственная
3 – индустриальная

4 – информационная
5 – биотехнологическая
6 – квантовая

Информационная революция – создание глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ – GII) как основы глобального информационного общества (ГИО – GIS)

Виды трафика по характеру потока

1. Трафик реального времени – РВ.

Допускает только незначительные задержки, но мало чувствителен к потерям пакетов. Это IP- телефония, ВКС, интерактивное ТВ, Skype и т.п.

2. Поточковый трафик – приложения аудио и видео информации, ПТ.

Потоки пакетов с определённой скоростью, которая должна быть сохранена во время сеанса связи путём ограничения задержек. При этом допустимы более длительные задержки по сравнению с трафиком РВ. Это музыка, видео клипы, ТВ по требованию, устные рассказы и т.п. В зависимости от типа информации всегда можно определить максимально требуемую скорость потока и в зависимости от этого устанавливать параметры организуемого соединения. Мало чувствителен к потерям пакетов.

При передаче поточкового трафика для компенсации разницы в задержках пакетов в сети и обеспечении их упорядоченного ввода в пользовательское устройство на приёмном конце потока пакетов устанавливается компенсационный буфер.

3. Эластичный трафик – приложения типа Клиент-Сервер, ЭТ.

Это обычная передача файлов. Скорость может меняться в широких пределах.

Поток чувствителен к потерям и очень мало чувствителен к задержкам.

Статистика по видам трафика

| Виды трафика | Доля, % |
|---|---------|
| Компьютеры и Internet | 33 |
| Развлечения | 18 |
| Новости и СМИ | 9 |
| Бизнес | 7 |
| Музыка | 5 |
| Остальное (Авто, дом, отдых, спорт, наука, образование, связь, транспорт, путешествия, культура, искусство, литература, здоровье, общество) | 28 |

Статистика по длинам IP-пакетов в банковском секторе

| Длины пакетов, байты | Доля, % |
|----------------------|---------|
| 0 – 63 | 25 |
| 64 – 127 | 28 |
| 128- 255 | 15 |
| 256 – 511 | 7 |
| 512 – 1023 | 2 |
| 1024 – 1517 | 23 |

Контент Triple Play (A, V, D)

Параметры Аудио-трафика

- а. Телефон – ТЧ-канал – (0.3 – 3.4 кГц)
 - б. Основной цифровой канал – ОЦК – $8 \text{ бит} * 8 \text{ кГц} = 64 \text{ кбит/с}$
 - в. Музыка – n квантования = 16 или 24 бит, f – до 48 (96) кГц
- Тогда скорость потока (Бит рейт) – 1152 (2304) кбит/с

Пример расчёта скорости ТВ-сигнала

Оцифровка аналогового сигнала: $C = k f 2 = 10 \times 13.5 \times 2 = 270 \text{ Мб/с}$

(Квантование $k = 2^{10}$. Полоса канала яркости – 6.75 МГц)

Цифровой сигнал FHD: $C = 1920 \times 1080 \times 30 \times 25 = 1555,2 \text{ Мб/с}$

(30 бит на оцифровку яркостного и цветоразностных сигналов.

25 кадров/с). Сжатие: структурное, статистическое, физиологическое

Распределение потоков в Internet

-D – клиент-сервер (90%) – протокол TCP;

-A и V – 9% - протокол UDP;

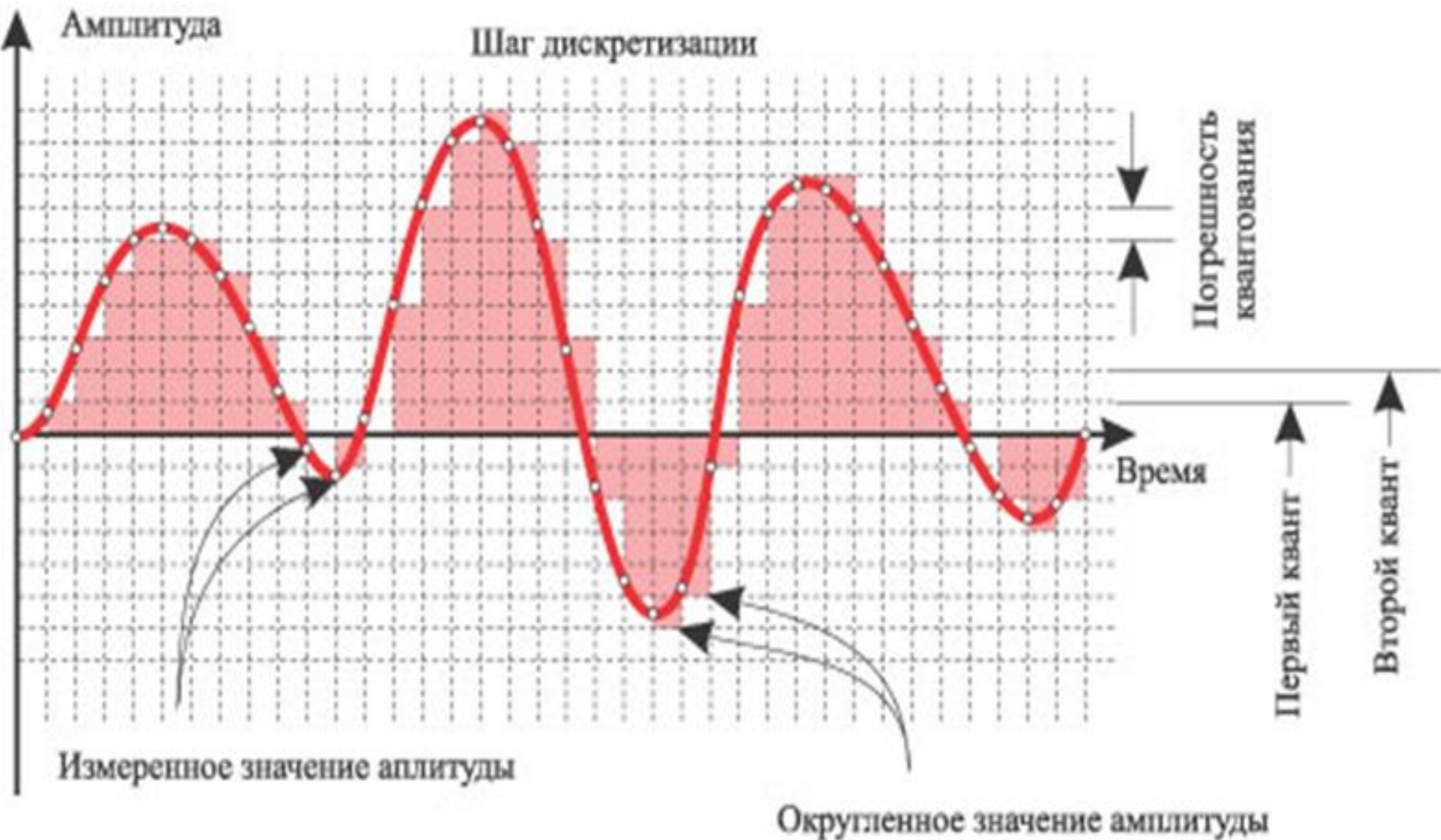
-Управляющая информация – 1%.

Опережающие виды трафика

Услуги e-health (M2M), в том числе – медицина.

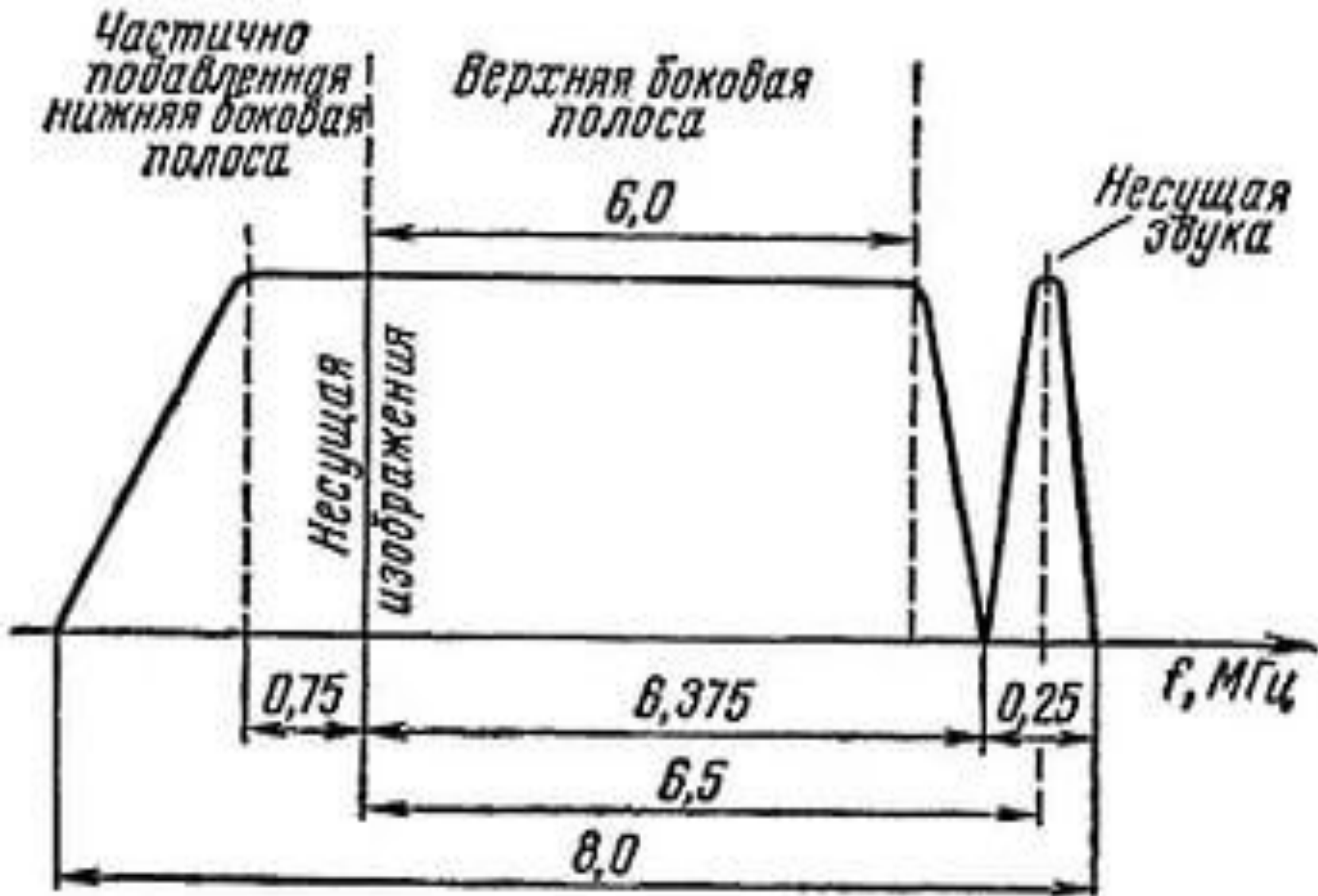
Видео-трафик. Облачные вычисления. Internet-вещей.

Схема работы АЦП



$$\text{ОЦК} - 8 \text{ бит} * 8 \text{ кГц} = 64 \text{ кбит/с}$$

Спектр аналогового телевизионного сигнала



Форматы телевизионных изображений



Один из вариантов сжатия ТВ сигнала:

Блок (8 x 8 пикс.), Макроблок (2 x 2 блока),

Ломтик (44 макроблока), Изображение (36 ломтиков)

По каналу передаётся только часть кадров изображения (например, каждый 12-й). Пиксели для пропущенных кадров в приёмном устройстве вычисляются

Требования к качеству передачи пакетов в 3GPP

| Приоритет | Время задержки, мс | Вероятность потерь | Приложения |
|-----------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 100 | 10^{-6} | Сигнализация. IMS |
| 2 | 100 | 10^{-2} | VoIP |
| 3 | 50 | 10^{-3} | Игры RT |
| 4 | 150 | 10^{-3} | Видео звонки |
| 5 | 300 | 10^{-6} | Потоковые услуги |
| 6 | 300 | 10^{-6} | Web потоки |

Статистика по времени задержки, $t_{\text{зад}}$:
 3GPP – 68 ms, HSPA – 51 ms, HSPA+ - 30 ms, LTE – 20 ms

Требования к качеству передачи пакетов в Internet (МСЭ-T)

| Показатель | Класс | | | | | |
|---------------------|-------|-----|-----|-----|------|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Вид трафика | РВ | ПТ | ЭТ | ЭТ | ЭТ | - |
| IPTD (задержка), мс | 100 | 400 | 100 | 400 | 1000 | - |
| IPDV (джиттер), мс | 50 | 50 | - | - | - | - |

Требования к качеству доведения по классам

| QCI | Тип ресурса | Приоритет | Задержка (мс) | PERL | Примеры услуг |
|-----|-------------|-----------|---------------|-----------|--|
| 1 | GBR | 2 | 100 | 10^{-2} | Телефония в режиме реального времени |
| 2 | | 4 | 150 | 10^{-3} | Видеотелефония, видео в режиме реального времени |
| 3 | | 3 | 50 | 10^{-3} | Игры в режиме реального времени |
| 4 | | 5 | 300 | 10^{-6} | Видео с буферизацией |
| 5 | | Non-GBR | 1 | 100 | 10^{-6} |
| 6 | 6 | | 300 | 10^{-6} | Видео с буферизацией, ТРС/ІР услуги для приоритетных пользователей |
| 7 | 7 | | 100 | 10^{-3} | Аудио, видео в режиме реального времени, интерактивные игры |
| 8 | 8 | | 300 | 10^{-6} | Видео с буферизацией, ТРС/ІР услуги |
| 9 | | 9 | | | |

Значения задержек в сетях связи

| Наименование сети | Задержка, мс |
|---------------------|--------------|
| NGN | 100 |
| Медицинские сети | 10 |
| Тактильный Интернет | 1 |

Этапы развития:

- телеграфные сети;
- телефонные сети;
- мультисервисные сети;
- сети связи следующего поколения (NGN);
- интернет вещей;
- тактильный Интернет (передача тактильных ощущений человека)

Скорости передачи в сетях связи

| Наименование сети | Скорость на доступе | Скорость на магистральном участке |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| NGN | Мбит/с | Гбит/с |
| Сети связи с малыми задержками | Гбит/с | Тбит/с |
| Тактильный Интернет | Тбит/с | Пбит/с |

Упрощённая формула для расчёта времени передачи пакетов в тактильных сетях:

$$T = Rt + Q$$

R – расстояние в км, Q – время задержки пакетов в узлах

t – ориентировочное время распространения ЭМВ в кабеле – 5 мкс/км (скорость ЭМВ – $v = 200000$ км/с. Сравнить $c = 300000$ км/с)

Скоростные возможности физических каналов передачи информации

Медные линии связи:

- коаксиальные линии – до 500 Мбит/с, на 1 км
- счетверённая витая пара типа UTP – 100 Гбит/с.

Волоконно оптические линии связи (ВОЛС):

- без спектрального уплотнения – 100 Гбит/с;
- со спектральным уплотнением – единицы Тбит/с;
- многожильные оптические световоды – до 255 Тбит/сек по кабелю длиной 1 километр.

Радио линии:

- сотовые сети 4-го поколения (LTE) – до 1-го Гбит/с;
- беспроводная сеть WiFi – единицы Гбит/с.

Спутниковые линии связи – сотни Мбит/с Спутниковые каналы работают в диапазоне 1,5 – 86 ГГц

Радио релейные линии связи – единицы Гбит/с

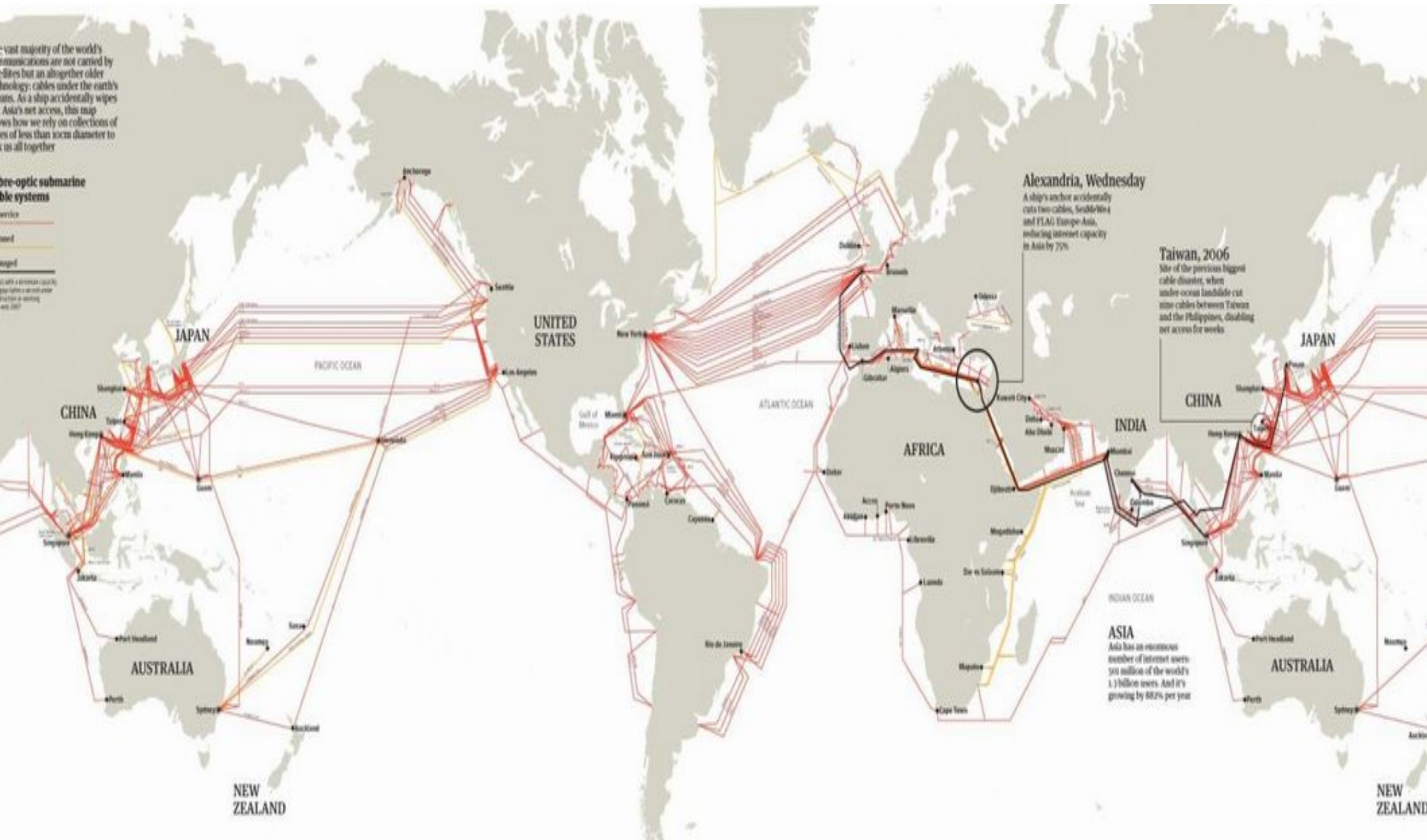
Рекорд скорости в оптическом канале

Очень обещающим сейчас видится решение о переходе на так называемые многожильные оптические световоды. Обычные оптические кабели проводят импульсы света путем толкания фотонов вдоль одной жилы, роль которой обычно выполняет пластик или стекло, проходящие через всю длину кабеля. Добавление дополнительных оптических жил способствует снижению отношения сигнал/шум и в то же время позволит передавать еще больше информации.

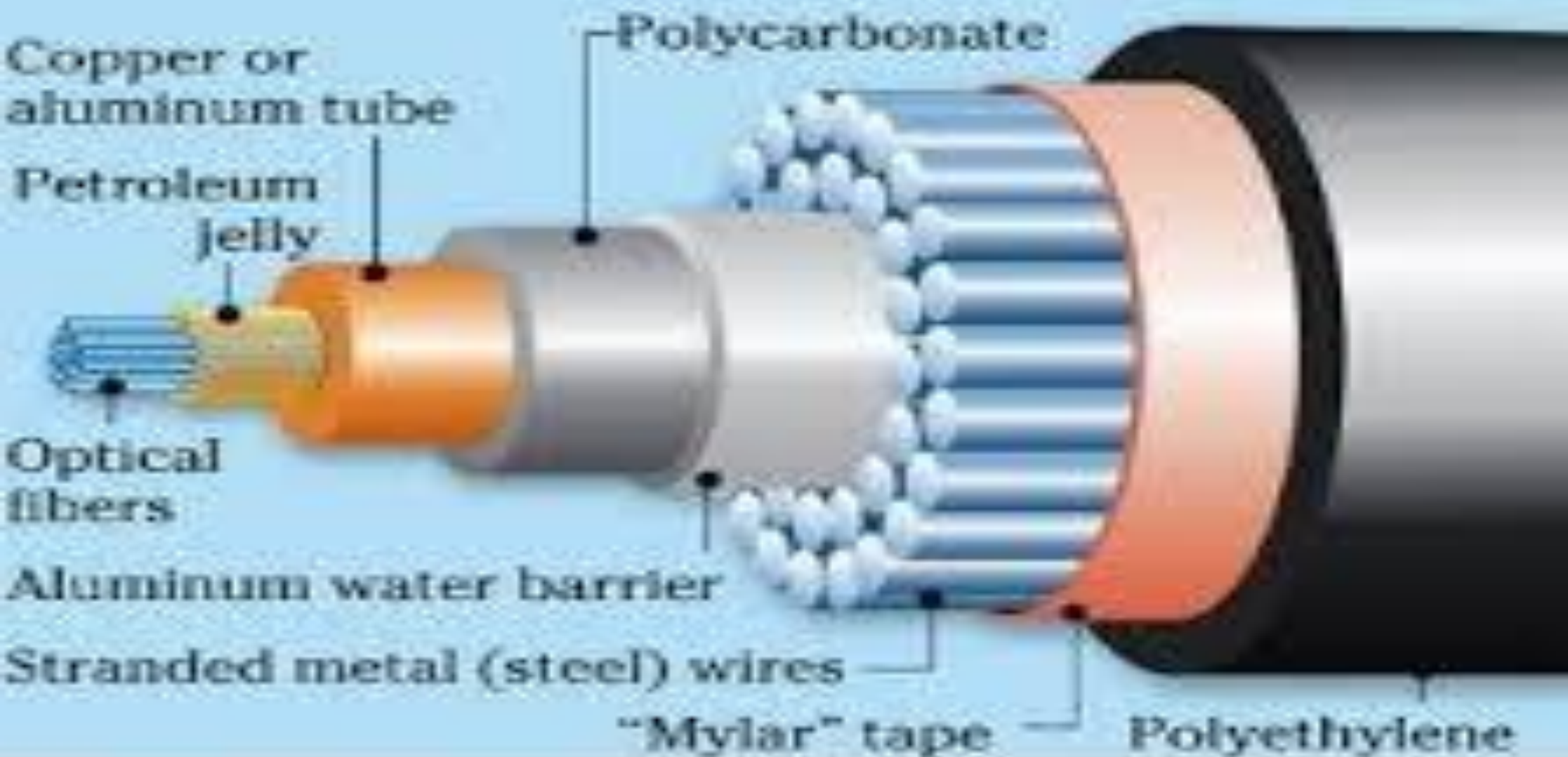
Передача информации через 50 различных потоков (частая практика в сфере телекоммуникаций) позволила добиться рекордного показателя скорости в 255 Тбит/сек по кабелю длиной 1 километр, что гораздо быстрее нынешнего стандарта в 4-8 Тбит/сек и в шесть раз быстрее установленного рекорда [несколькими месяцами ранее](#).

Новый транс атлантический кабель (2016 г) обеспечивает скорость 160 Тбит/с.

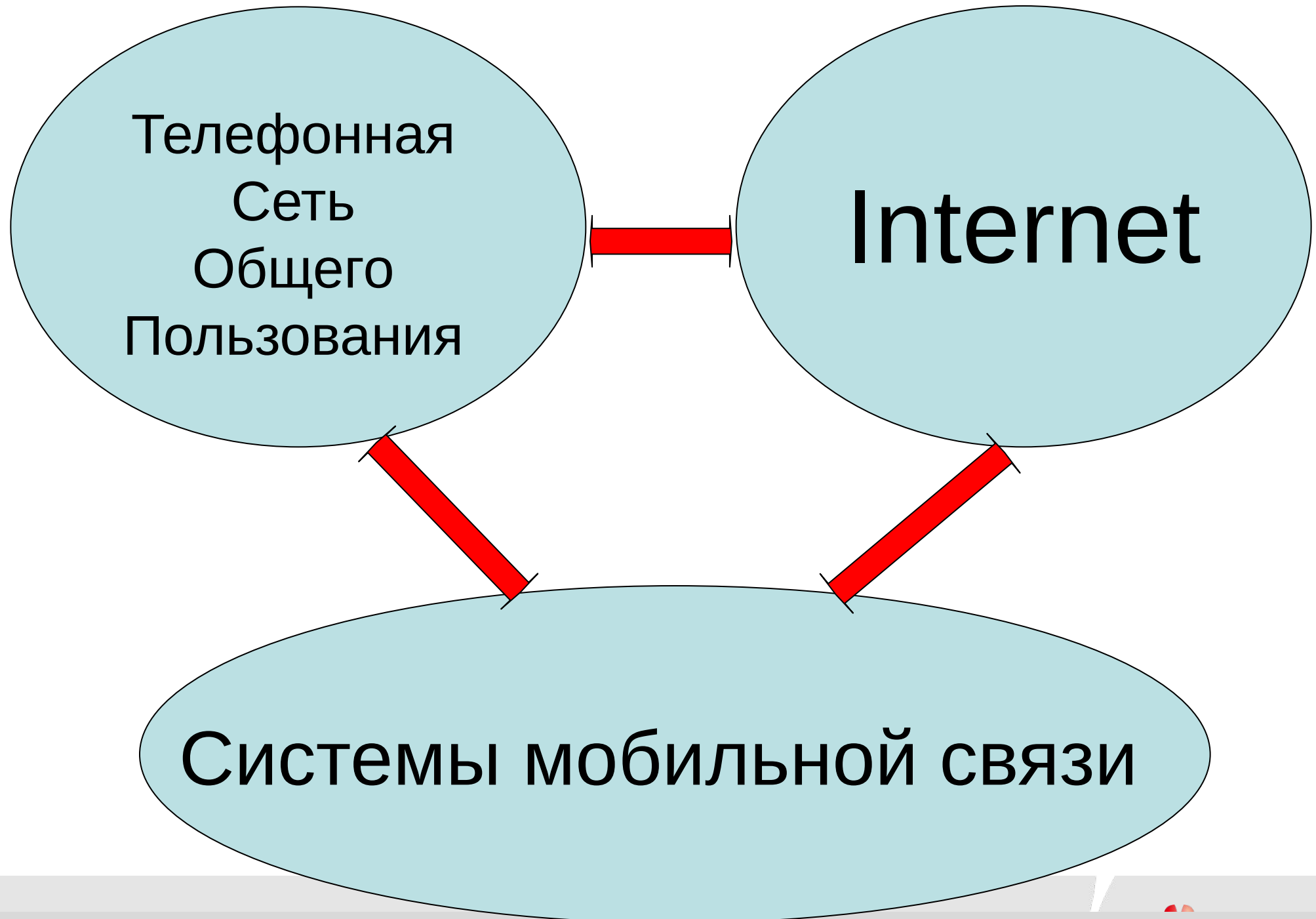
Трансокеанские оптические кабели



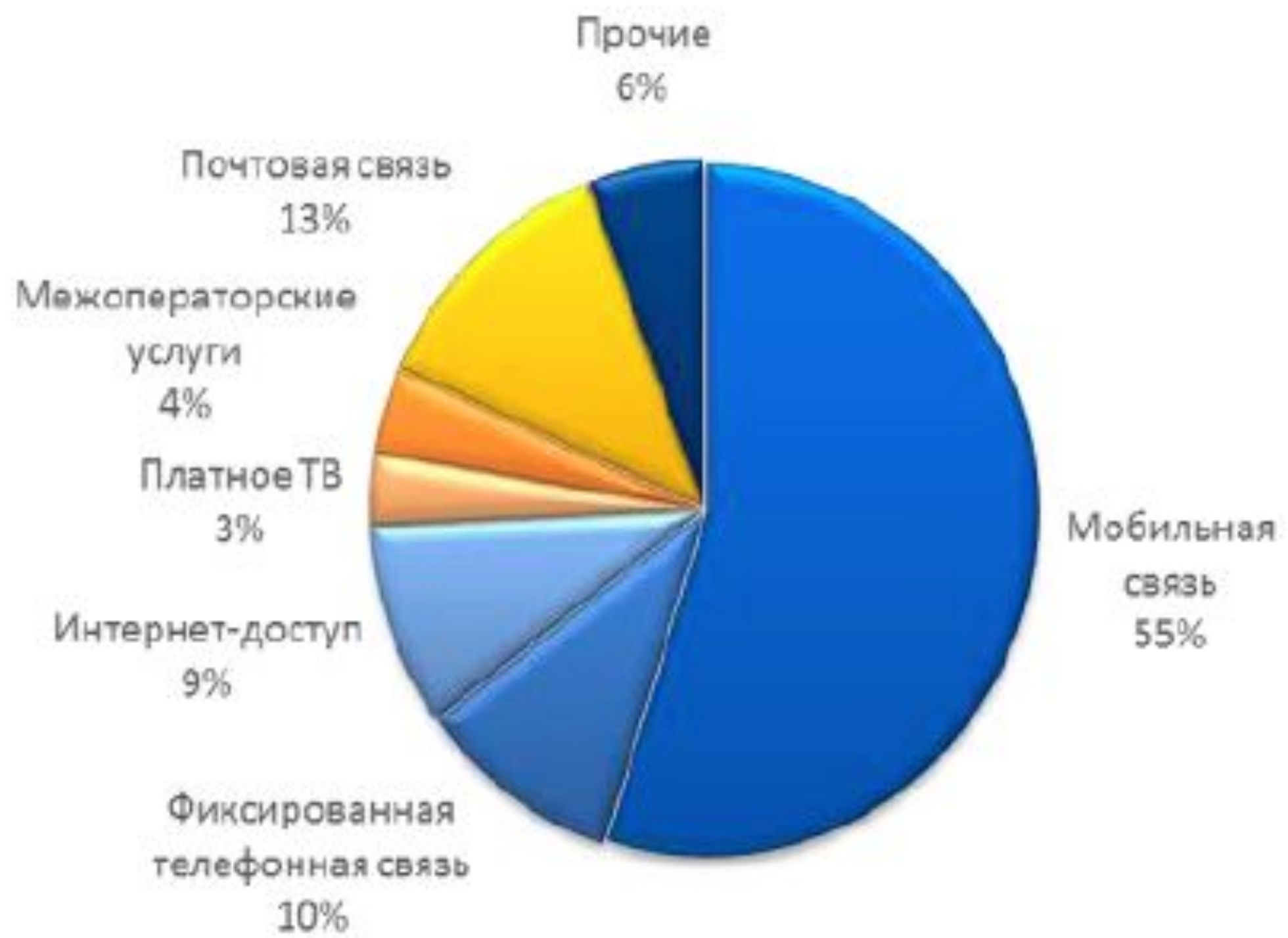
Вариант глубоководного оптического кабеля



Базовая схема устройства глубоководного оптического кабеля.



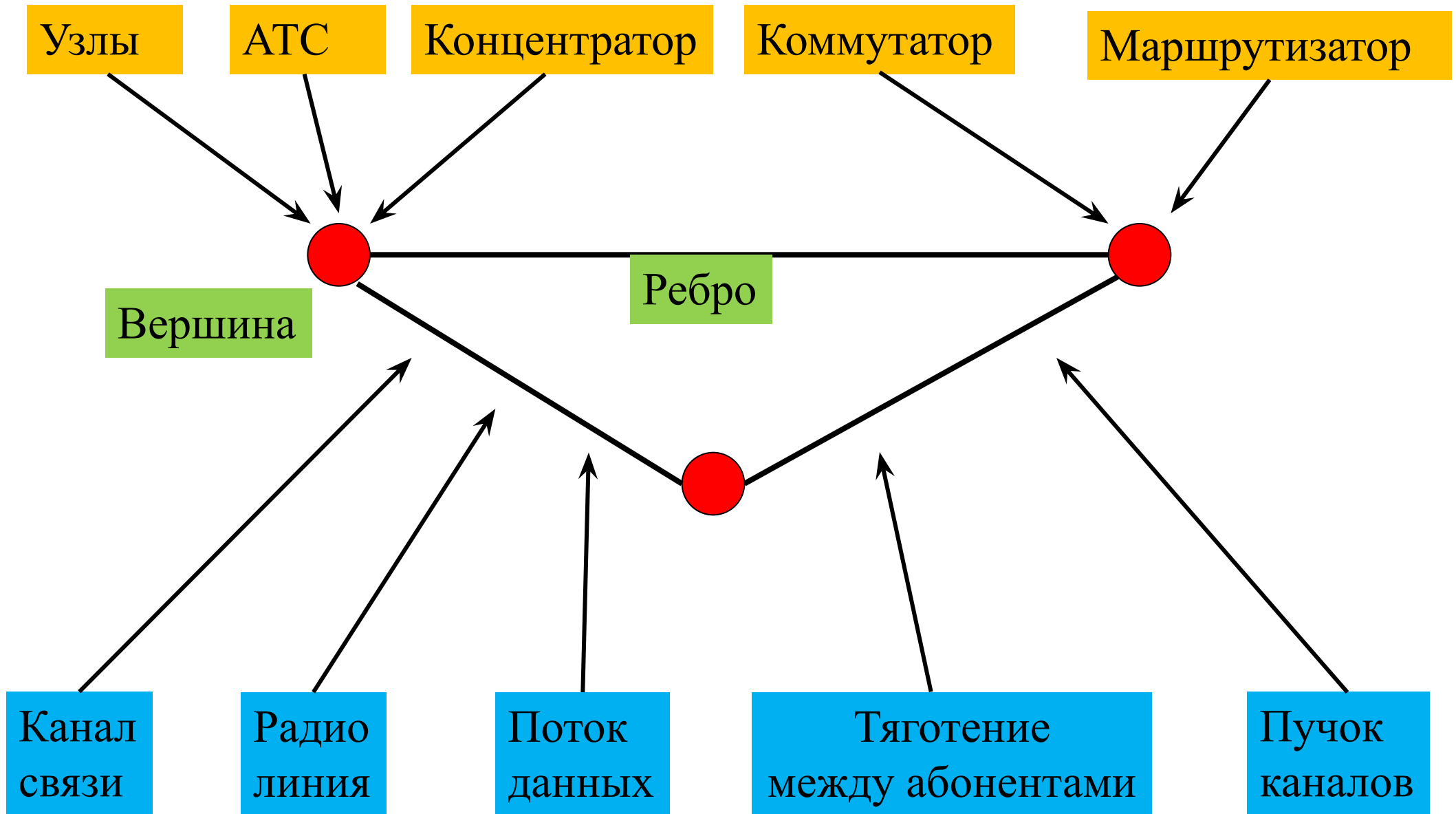
Структура телеком рынка РФ, 2014П



2. Теория графов

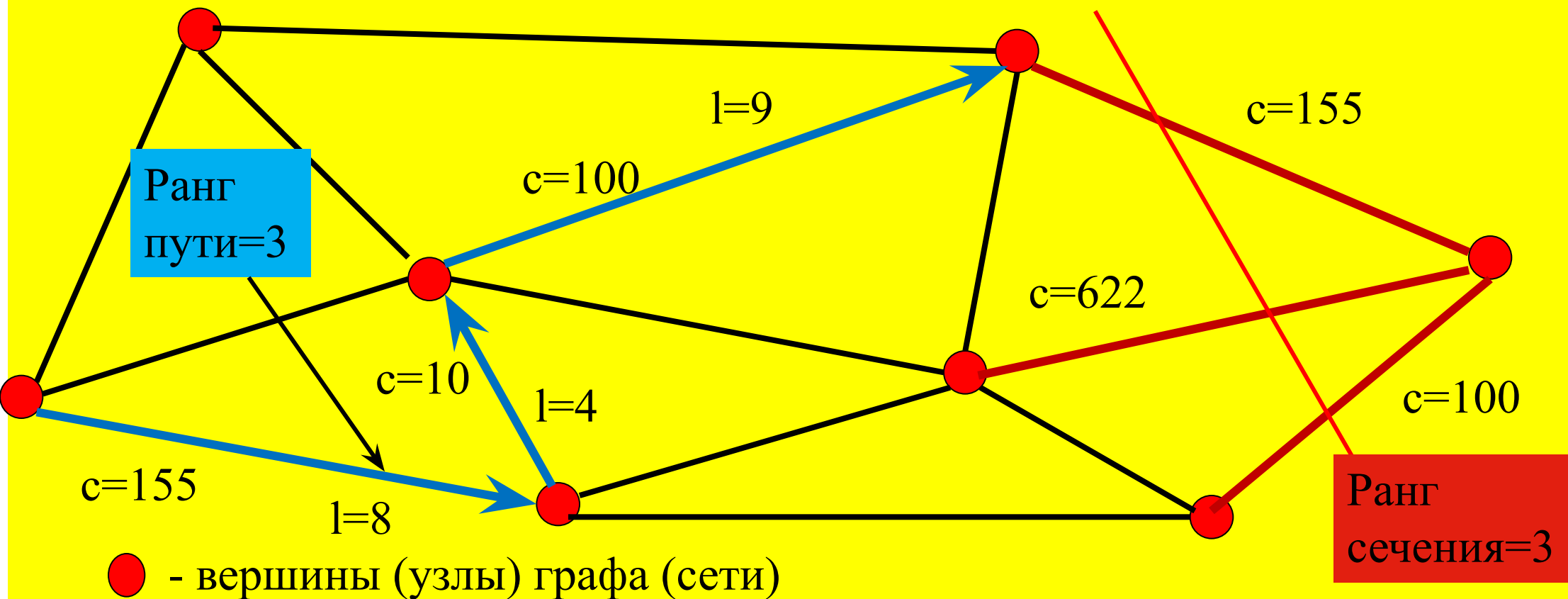
(Основные определения)

Отображение реальных элементов сети в графе



Граф $G(N, V)$ – совокупность N вершин и V рёбер (ветвей)

Понятие о путях и сечениях в графе



— - рёбра (ветви, каналы, направления) графа (сети)

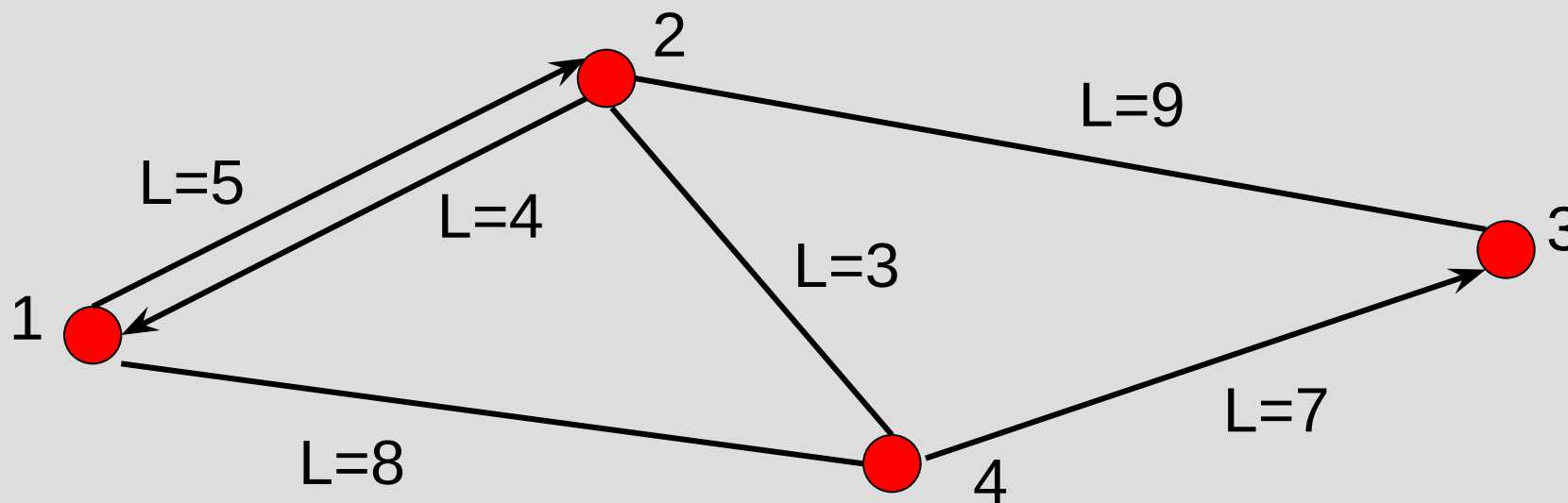
Путь – не избыточная последовательность рёбер, соединяющая узел-исток с узлом-стоком

Длина пути – сумма длин рёбер; $L = 21$

Ёмкость (пропускная способность) пути равна минимальной ёмкости из всех рёбер, составляющих этот путь; $C = 10$ Мбит/с

Сечение – не избыточный набор рёбер, удаление которых делает сеть несвязной. Ёмкость сечения – сумма ёмкостей ветвей. $C = 877$

Способы отображения конфигурации сети: граф и матрица



$$M = \begin{vmatrix} 0 & 5 & \infty & 8 \\ 4 & 0 & 9 & 3 \\ \infty & 9 & 0 & \infty \\ 8 & 3 & 7 & 0 \end{vmatrix}$$

Граф считается не ориентированным, если не ориентированы все его ветви.

В противном случае граф – ориентир.

Матрица не ориентированного графа

симметрична по отношению к своей главной диагонали.

В качестве длин ветвей могут использоваться как реальные длины, так и другие параметры. Например: время задержки, пропускная способность, стоимость, надёжность, BER и обобщённые характеристики.

Параметры сети, отображаемые в матрицах

В матрице, отображающей структуру сети, можно указывать следующие параметры вершин (главная диагональ) и ветвей (остальные позиции):

-длина ветви;

-время задержки пакета;

-пропускная способность узла (ветви);

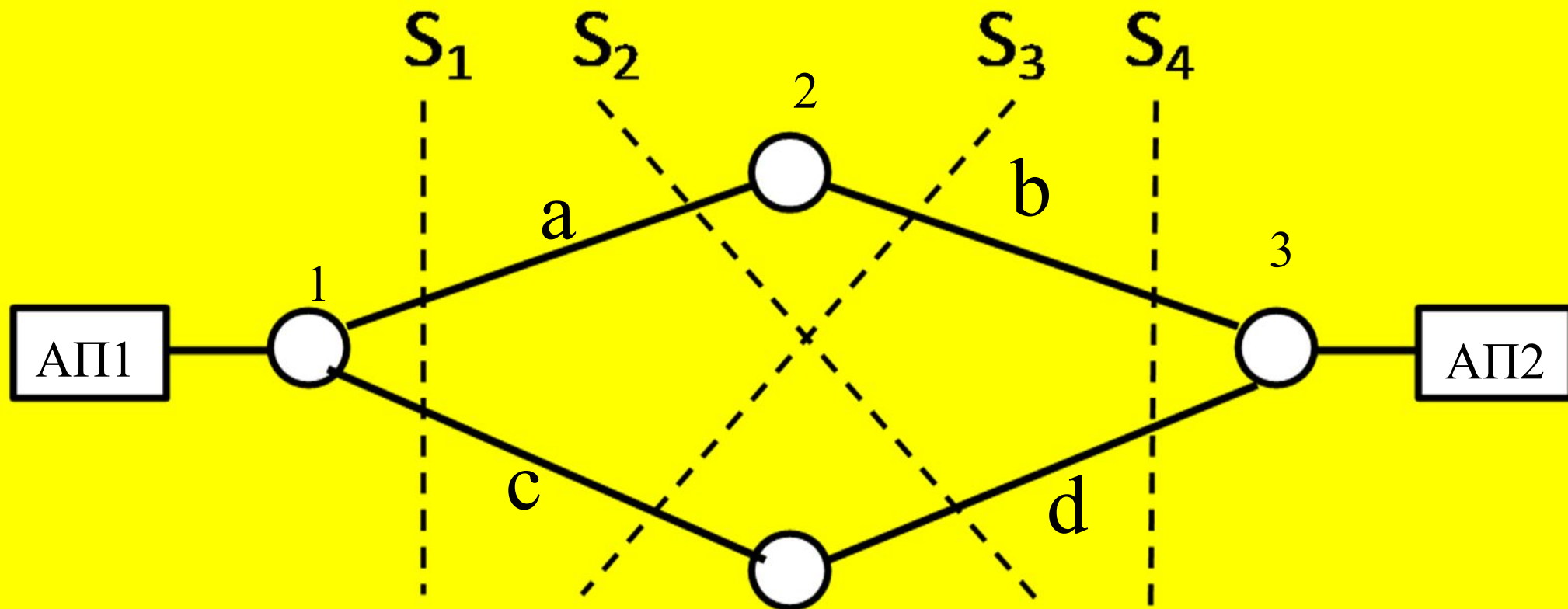
-надёжность оборудования;

-стоимость оборудования;

-параметры очередей;

-наличие приоритетного обслуживания и др.

Теорема двойственности

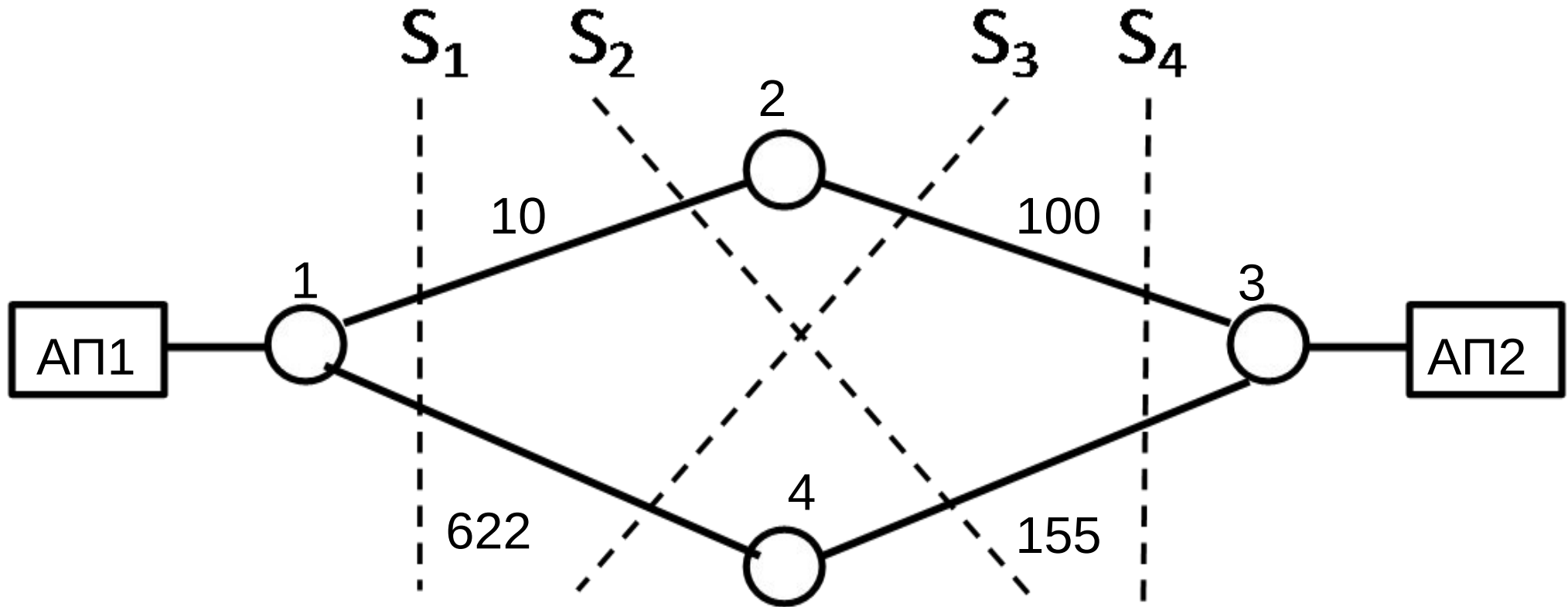


Множество путей между узлами 1 и 3 : $M(1,3) = ab \vee cd$

Для получения множества сечений $S(1,3)$ нужно в множестве путей $M(1,3)$ поменять местами операции конъюнкции и дизъюнкции

$$\begin{aligned} S(1,3) &= (a \vee b) \wedge (c \vee d) = ac \vee ad \vee bc \vee bd = \\ &= S(1) \vee S(2) \vee S(3) \vee S(4) \end{aligned}$$

Максимальная пропускная способность сети



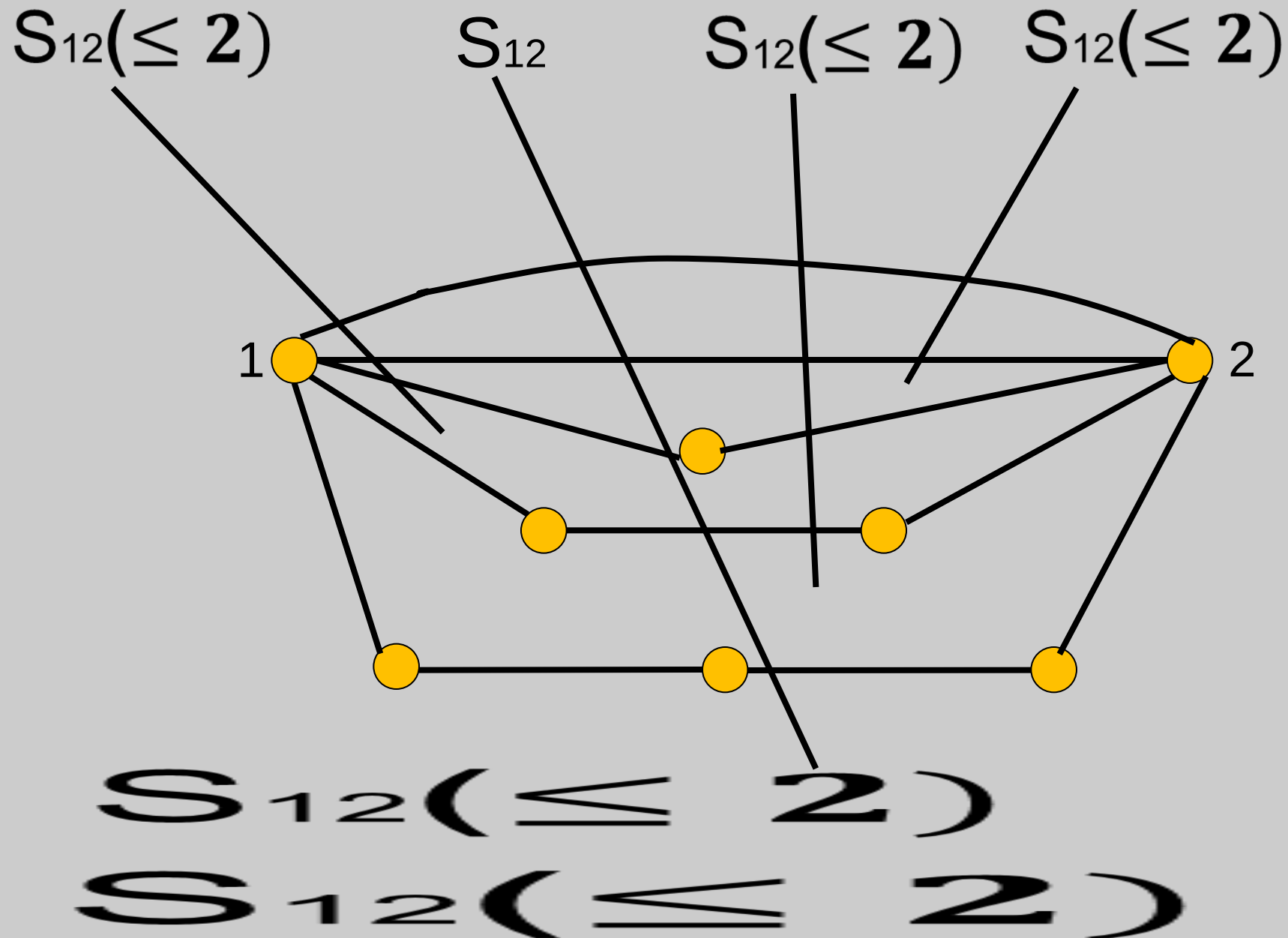
Ёмкости сечений: $S_1=632$ Мбит/с, $S_2=165$ Мбит/с,
 $S_3=722$ Мбит/с, $S_4=255$ Мбит/с

Теорема о максимальном потоке Форда-Фалкерсона:

Максимальный поток между двумя узлами сети (например, между узлами 1 и 3) равен пропускной способности минимального сечения, разделяющего эти узлы. В нашем примере это сечение S_2 и максимальный поток между узлами 1 и 3 будет равен 165 Мбит/с

Теорема справедлива только для двух-полюсной сети.

Понятие о квазисечениях



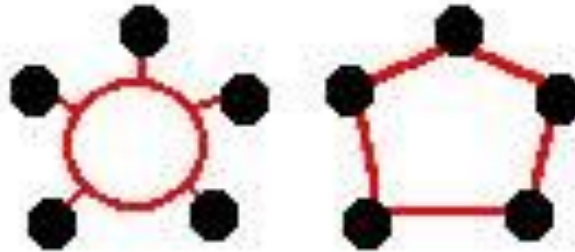
Ранг i определяет ранг пересекаемых путей, а не их количество

Топология сетей связи

Общая шина



Кольцо



Полносвязная



Звезда



Иерархия



Звезда-Иерархия



Сложная

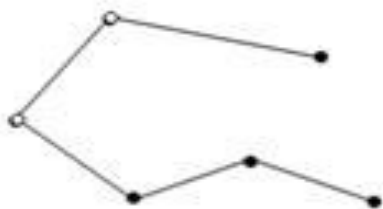


Сложная



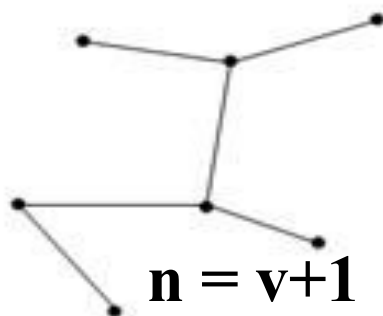
Варианты конфигурации сетей

линейная



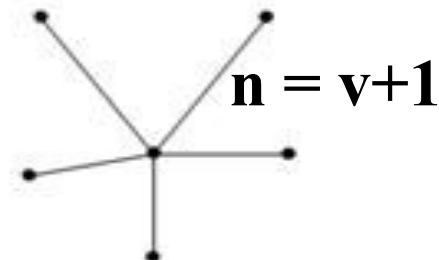
$$n = v + 1$$

древовидная



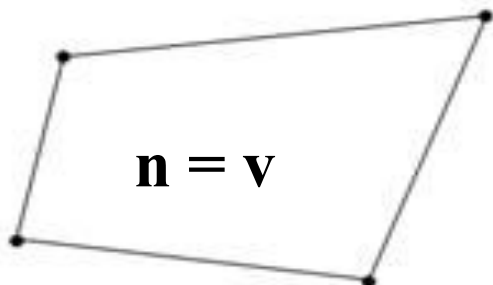
$$n = v + 1$$

звёздообразная



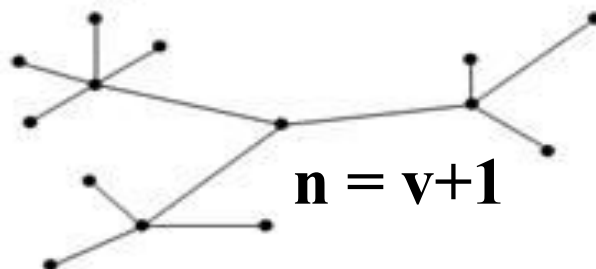
$$n = v + 1$$

кольцевая



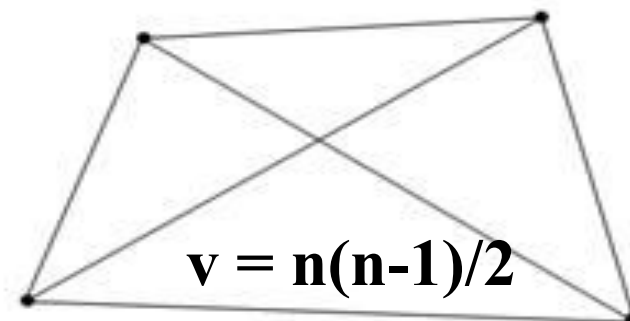
$$n = v$$

радиально-узловая



$$n = v + 1$$

полносвязная

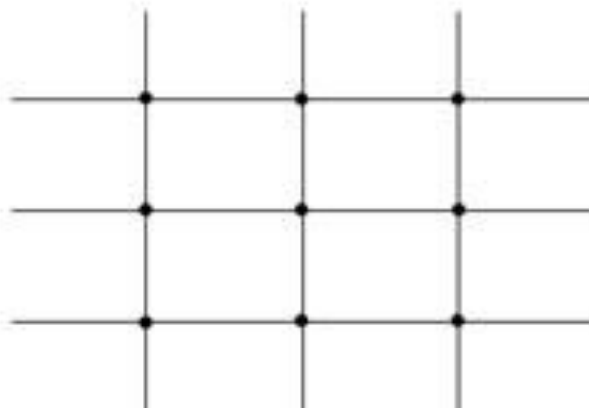


$$v = \frac{n(n-1)}{2}$$

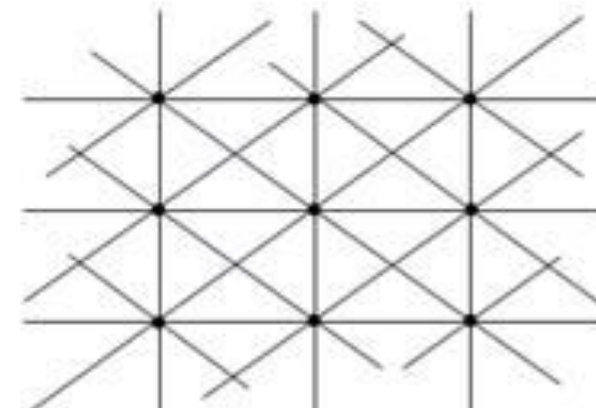
сотовая



решетка

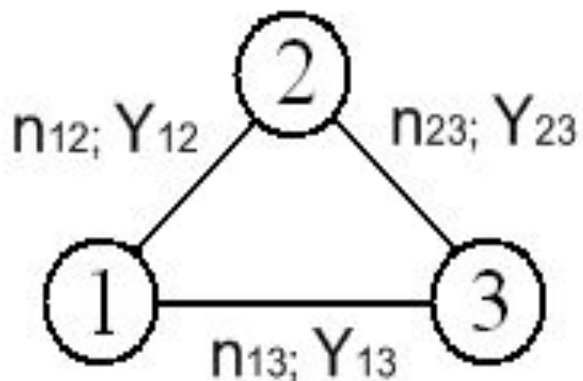


двойная решетка



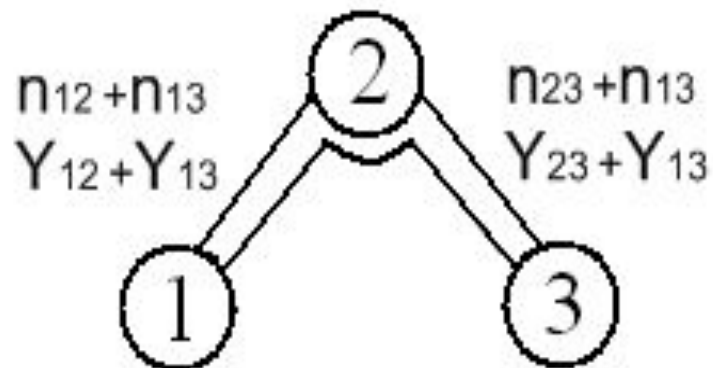
Варианты построения 3-х узловой сети

а) введение прямых каналов



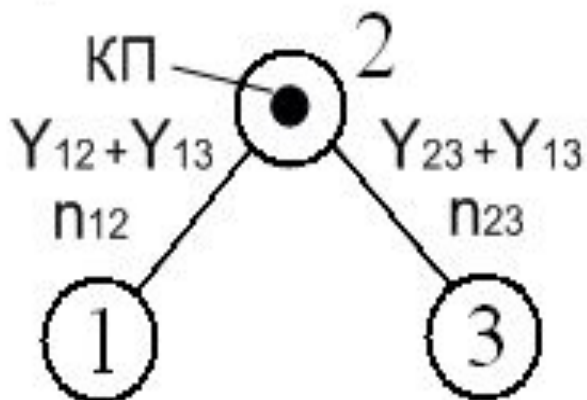
Вывод:
 $n \equiv Y.$

б) введение одного обходного пути



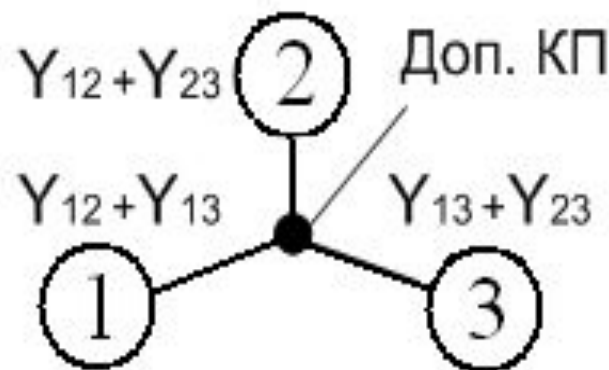
Вывод:
 $n \equiv Y.$

в) введение комм. пункта



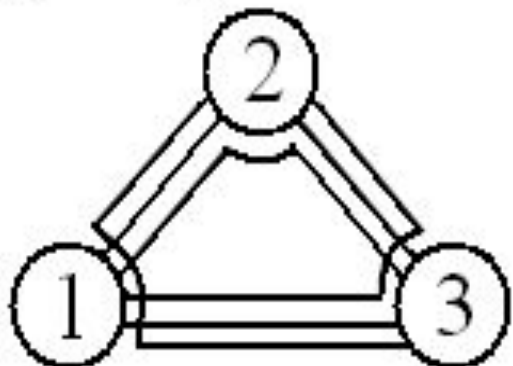
Вывод:
 $n = \text{const}; Y \uparrow.$

г) введение доп. Комм. пункта



Вывод:
 $n = \text{const}; Y \uparrow.$

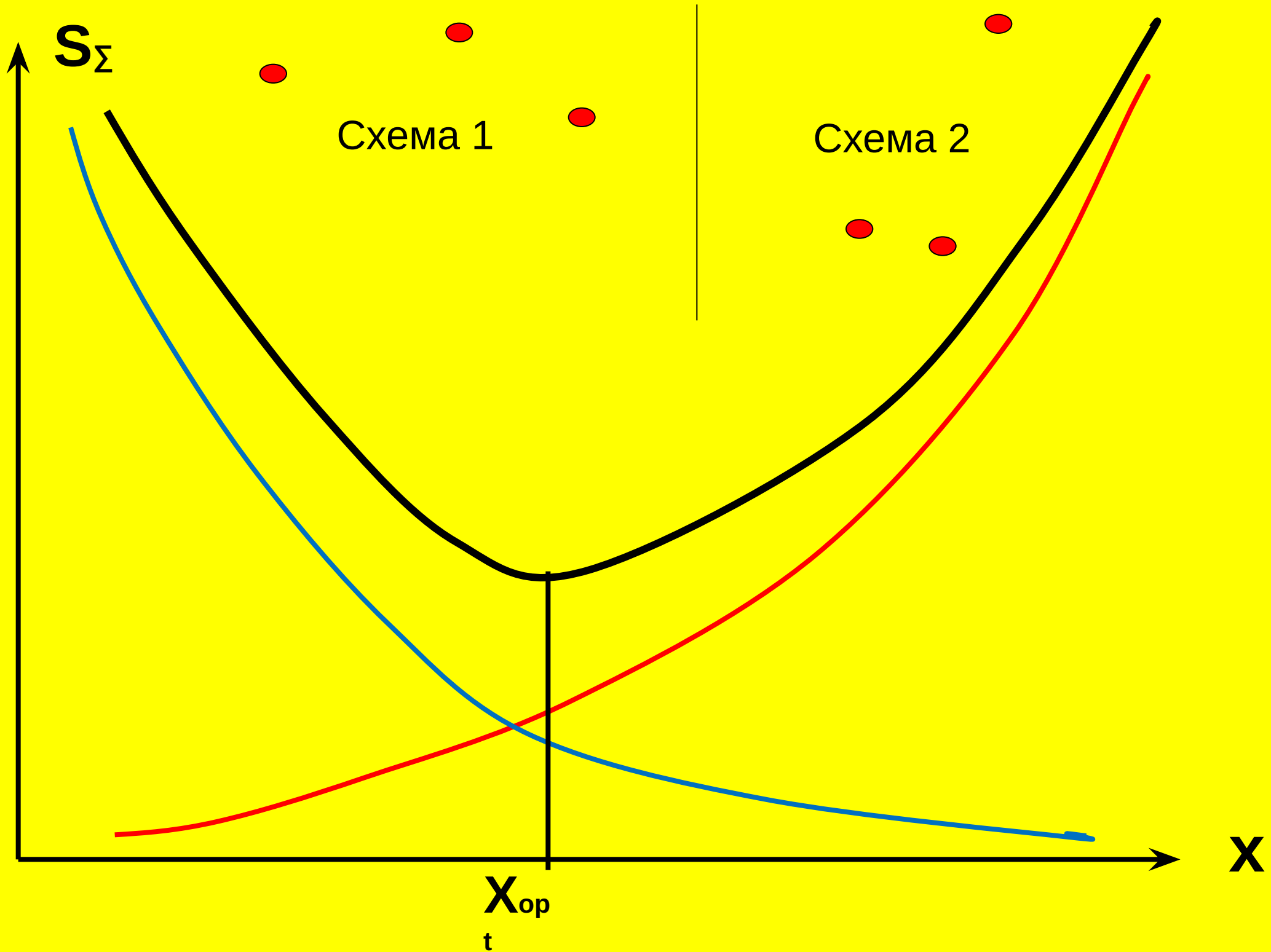
д) введение многих обходных путей



Вывод:
 $n \uparrow; Y = \text{const}.$

n – число каналов
 Y – нагрузка в Эрлангах

Оптимизационные задачи



3. Цифровые каналы, мультиплексирование и схемы коммутации (Основные понятия)

Основные виды сред,

проводящих ЭМВ в

телекоммуникационных сетях:

- эфир,

- медь,

- оптика.

Линейки канальных скоростей

PDH (Плещиохронная цифровая иерархия)

| | E1 | E2 | E3 | E4 |
|-------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| кб/с | 2048 | 8448 (4x2048 + 256) | 34368 (4x8448 + 576) | 139264 (4x34368 + 1792) |

SDH (Синхронная цифровая иерархия)

| STM-1 | STM-4 | STM-16 | STM-64 | STM-256 |
|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------|
| 155.52 Мб/с | 622.08 Мб/с | 2.5 Гб/с | 10 Гб/с | 40 Гб/с |

Технология Ethernet

| | | | | | |
|----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| 10 Мб/с | 100 Мб/с | 1 Гб/с | 10 Гб/с | 40 Гб/с | 100 Гб/с |
|----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|

Оптические транспортные сети

| OTN | OTU-1 | OTU-2 | OTU-3 | OTU-4 |
|------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | 2,7 Гбит/с | 10,7 Гбит/с | 43 Гбит/с | 112 Гбит/с. |

SDH (Синхронная цифровая иерархия)

Физическая среда – как правило оптоволокно

Передача фрагментами по 2430 байт (формат фрагмента – 9 строк * 270 столбцов).

Интервал между фрагментами – 125 мкс (8 к фрагм/с).

Скорость STM-1 – $2430 \cdot 8 \cdot 8000 = 155.52$ Мбит/с. Далее строгое учетверение

Скорость STM-4 – $155.52 \cdot 4 = 622.08$ Мбит/с

Скорость STM-16 – $622.08 \cdot 4 \approx 2.5$ Гбит/с

Скорость STM-64 – $2.5 \cdot 4 = 10$ Гбит/с

Скорость STM-256 – $10 \cdot 4 = 40$ Гбит/с

Для работы SDH нужна строгая синхронизация приёмной и передающей аппаратуры. Тактовая система синхронизации (ТСС) страны с использованием цезиевых, рубидиевых или водородных генераторов (стабильность до 10^{-13}) позволяет довести проскальзывания – не чаще 1-го за 73 суток.

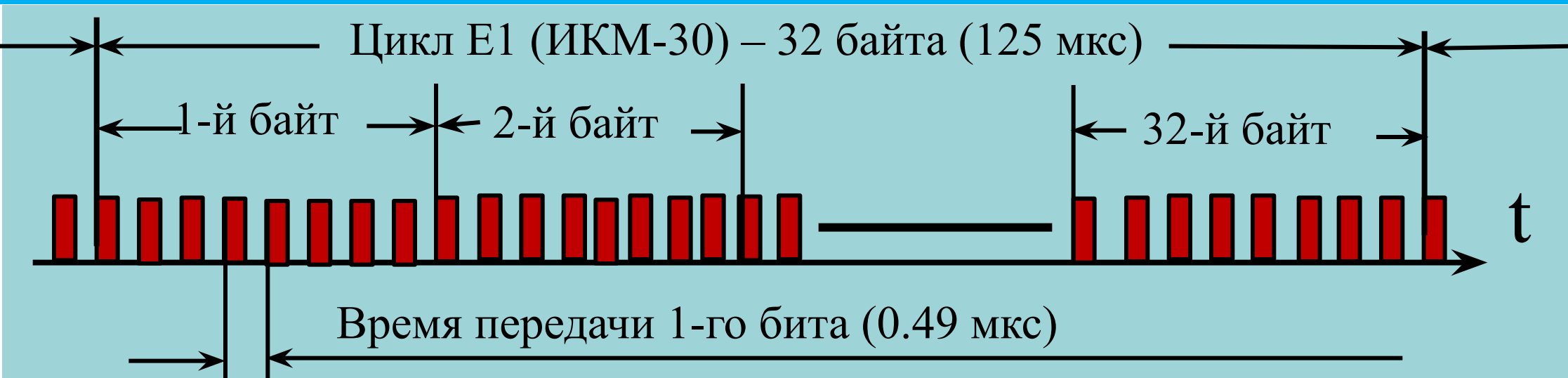
Используется в высокоскоростных MAN и WAN сетях.

Одно из главных преимуществ – время переключения на резерв – 50 мс.

Технология SDH в настоящее время активно вытесняется технологией Ethernet особенно в городских сетях, но часто используется и вариант Ethernet / SDH/ ОВ из-за более быстрого переключения на резерв. Работы по убыстрению Ethernet ведутся. Поэтому в перспективе - Ethernet / ОВ.

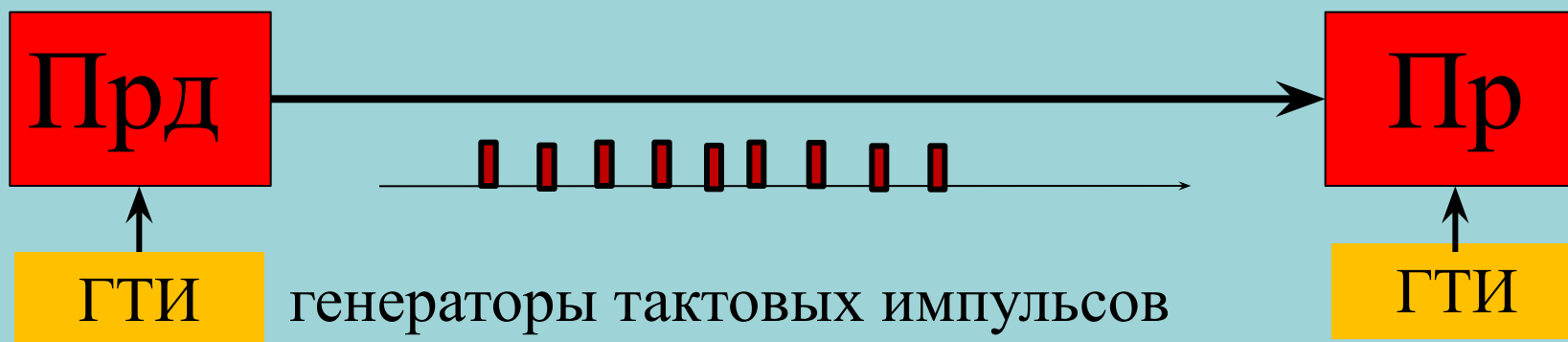
Принцип и виды синхронизации в цифровых каналах

Виды синхронизации: битовая (границы бита), байтовая (граница байта), цикловая (граница цикла или фрагмента)



Рассмотрен вариант соответствия 1 бод ↔ 1 бит. В общем случае 1 бод может содержать несколько бит (например, при QAM-256 1 бод ↔ 8 бит)

Причины битовой рассинхронизации - различие частот ГТИ

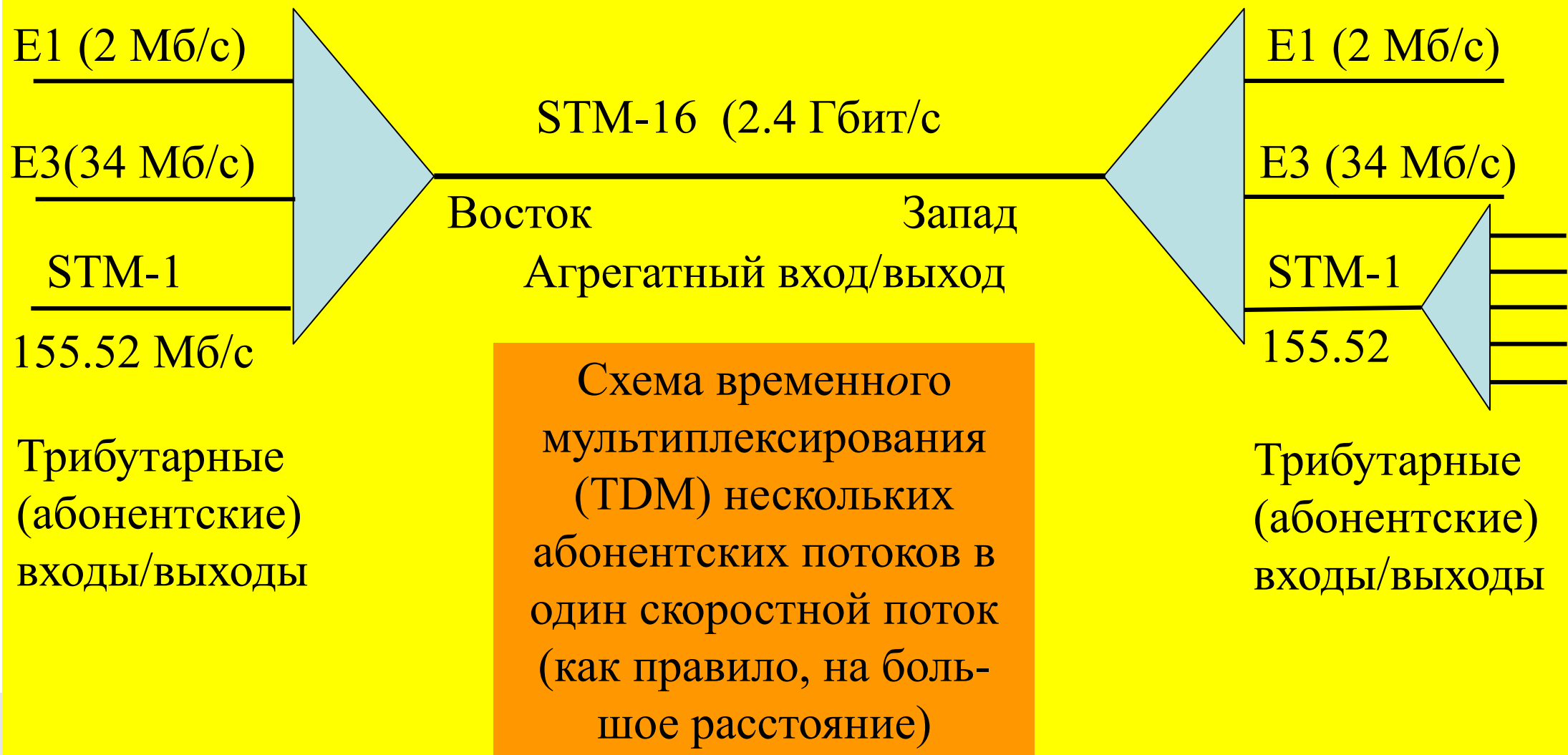


При стабильности ПЭГ – 10^{-13} рассинхронизация доходит до 1-й на 73 сут.

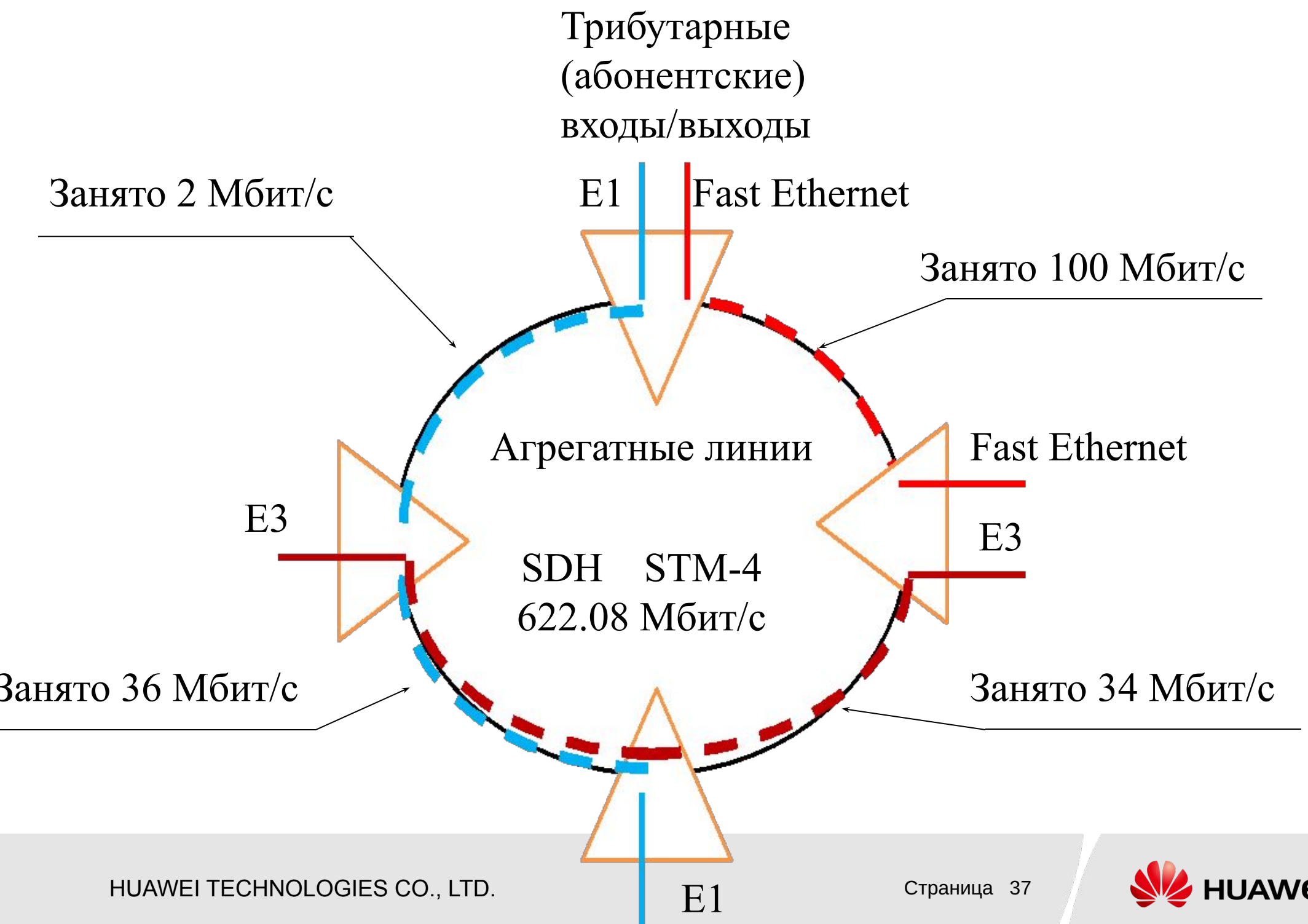
PDH (Плeзиохронная цифровая иерархия)

Не требуется жесткая синхронизация (достаточно кварцевой – 10^{-6}). Но приходится добавлять к информационному блоку «пустые» биты, число которых может уменьшаться или увеличиваться при несовпадении частот тактовых генераторов передатчика и приёмника.

Типичная схема использования:

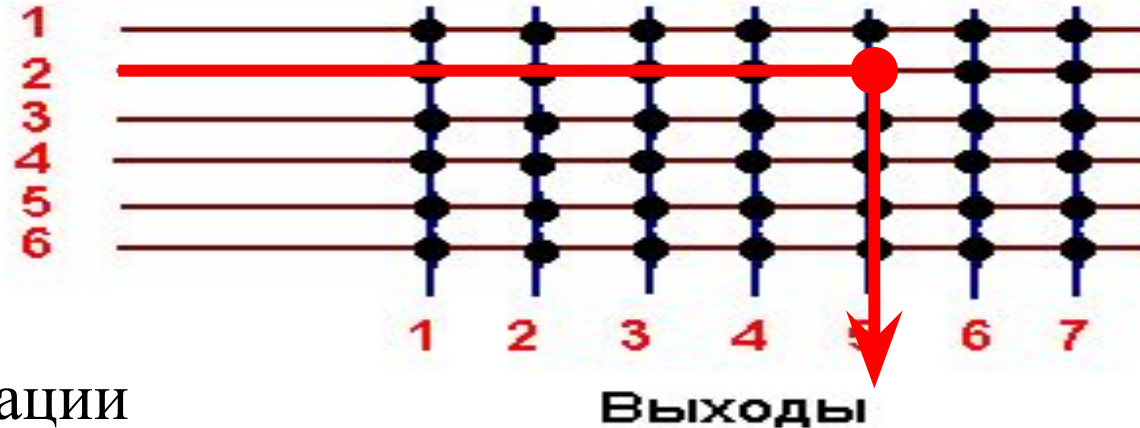


Мультиплексоры ввода/вывода (ADM) в кольцевых структурах



Пространственный коммутатор

Входы

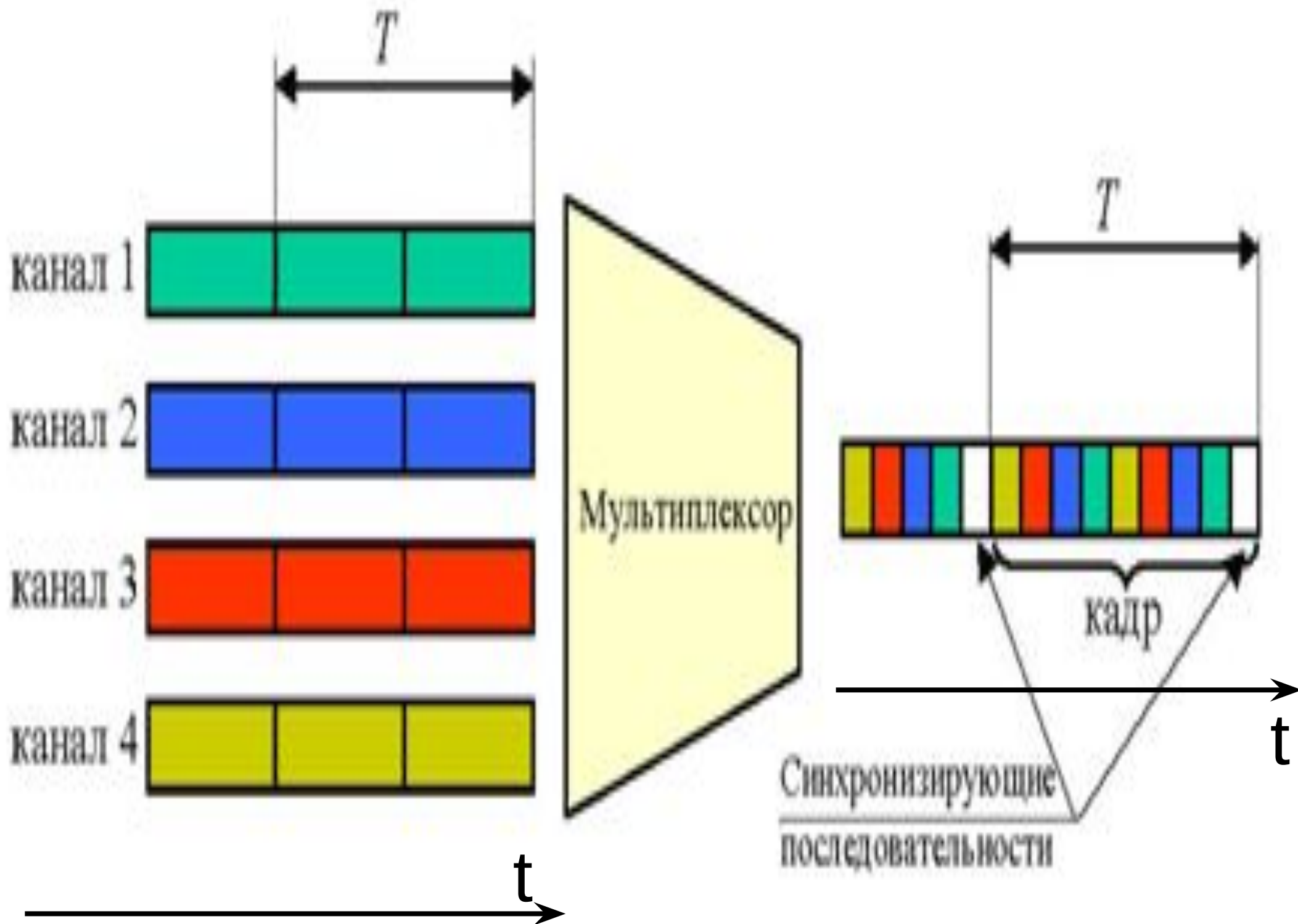


● - Точка коммутации

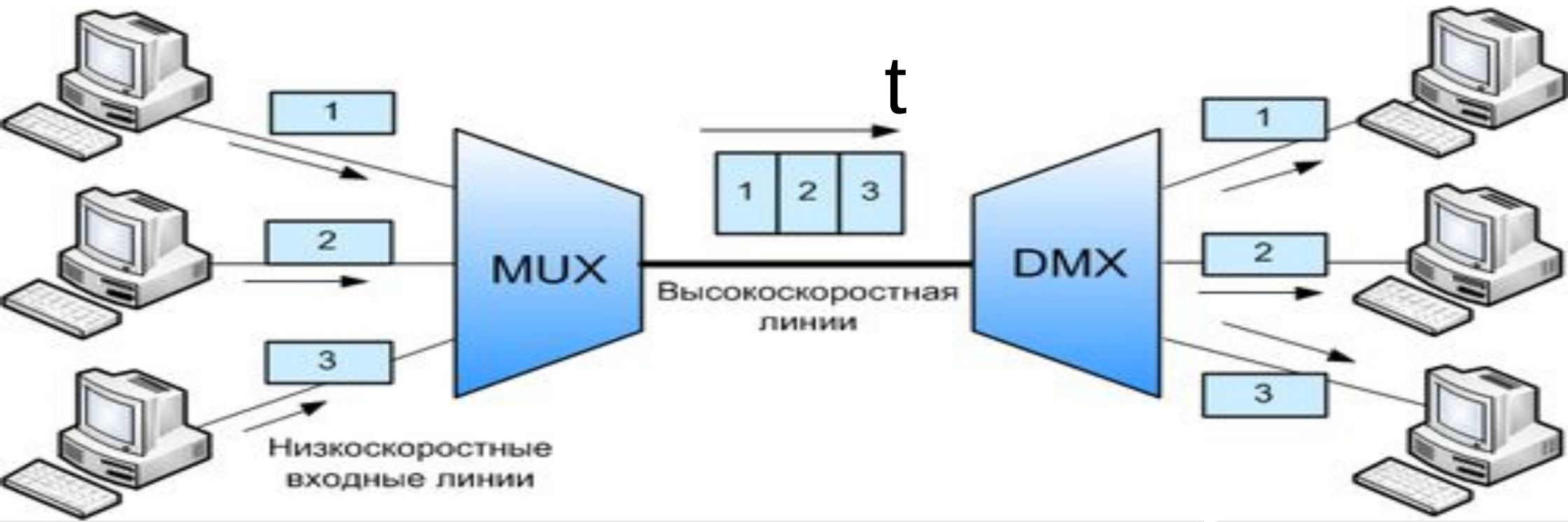
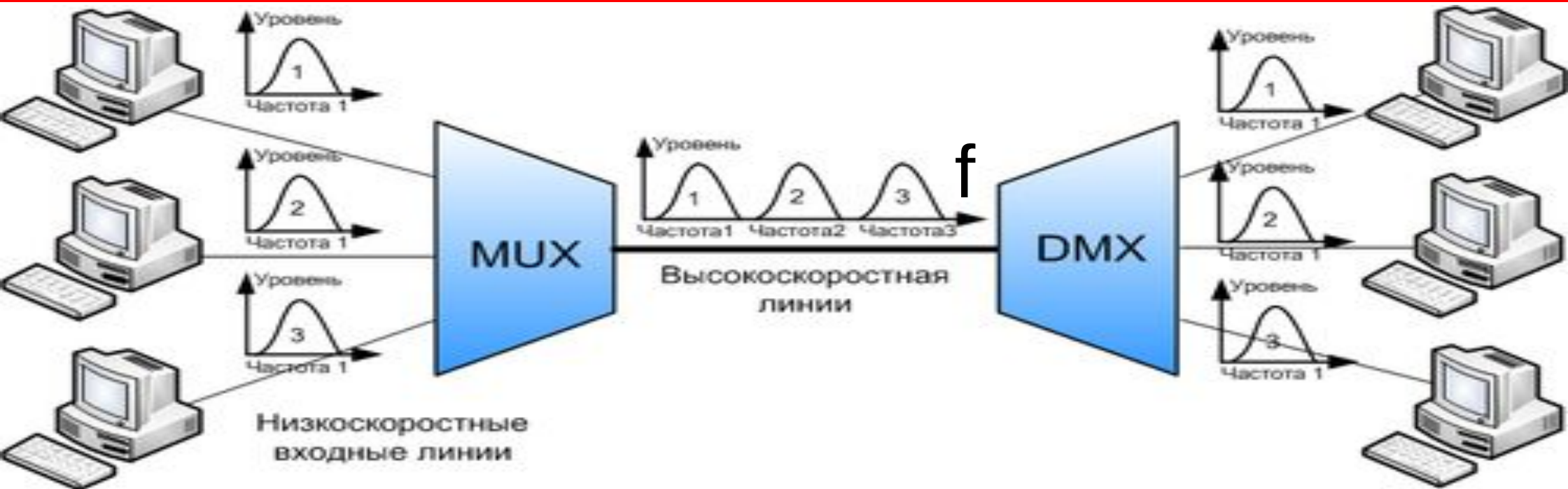
Трёхзвенный коммутатор «Время-Пространство-Время»



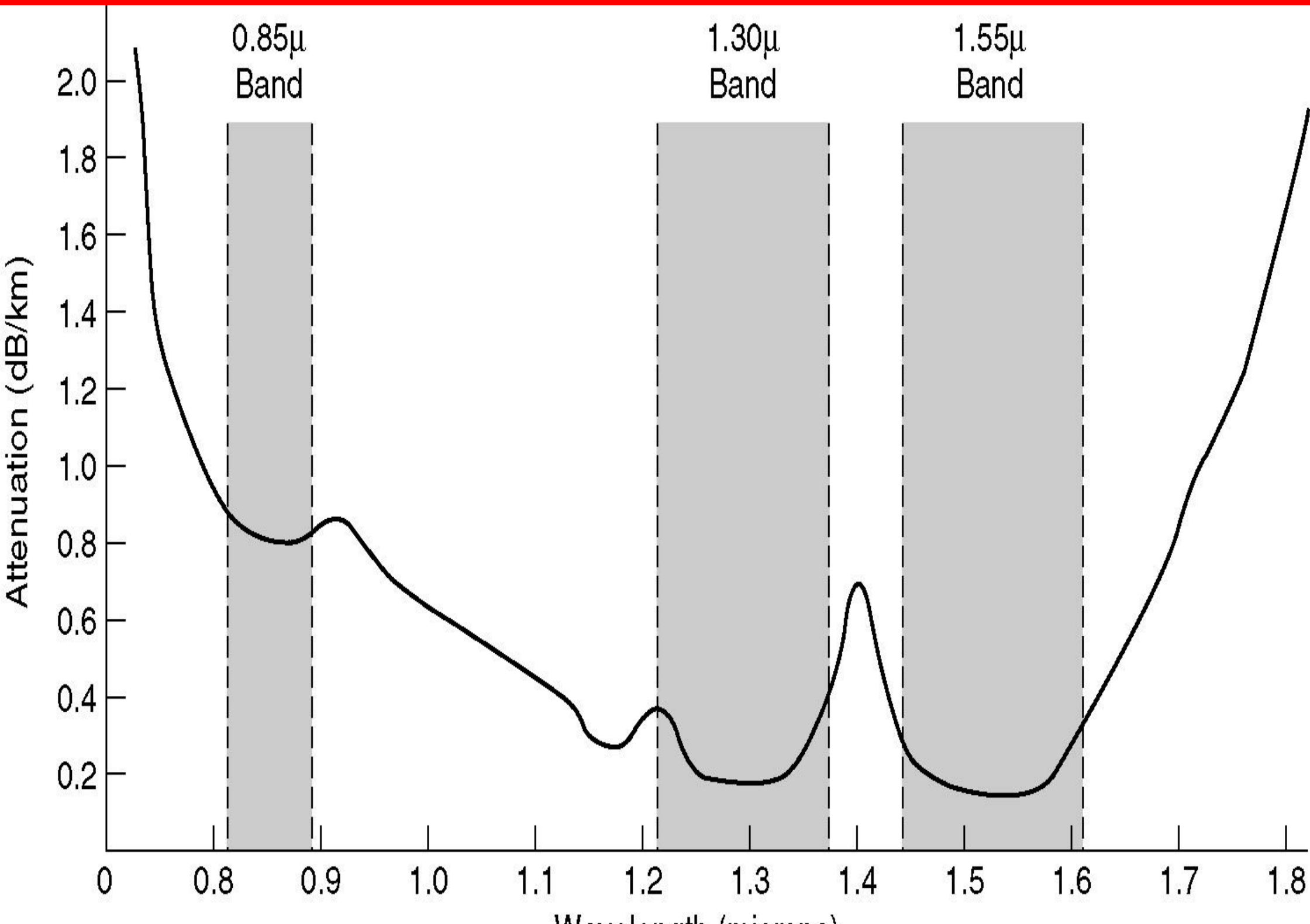
Мультиплексирование с временным разделением каналов - TDM



FDM и TDM мультиплексирование



Окна прозрачности оптического волокна



Технологии спектрального уплотнения

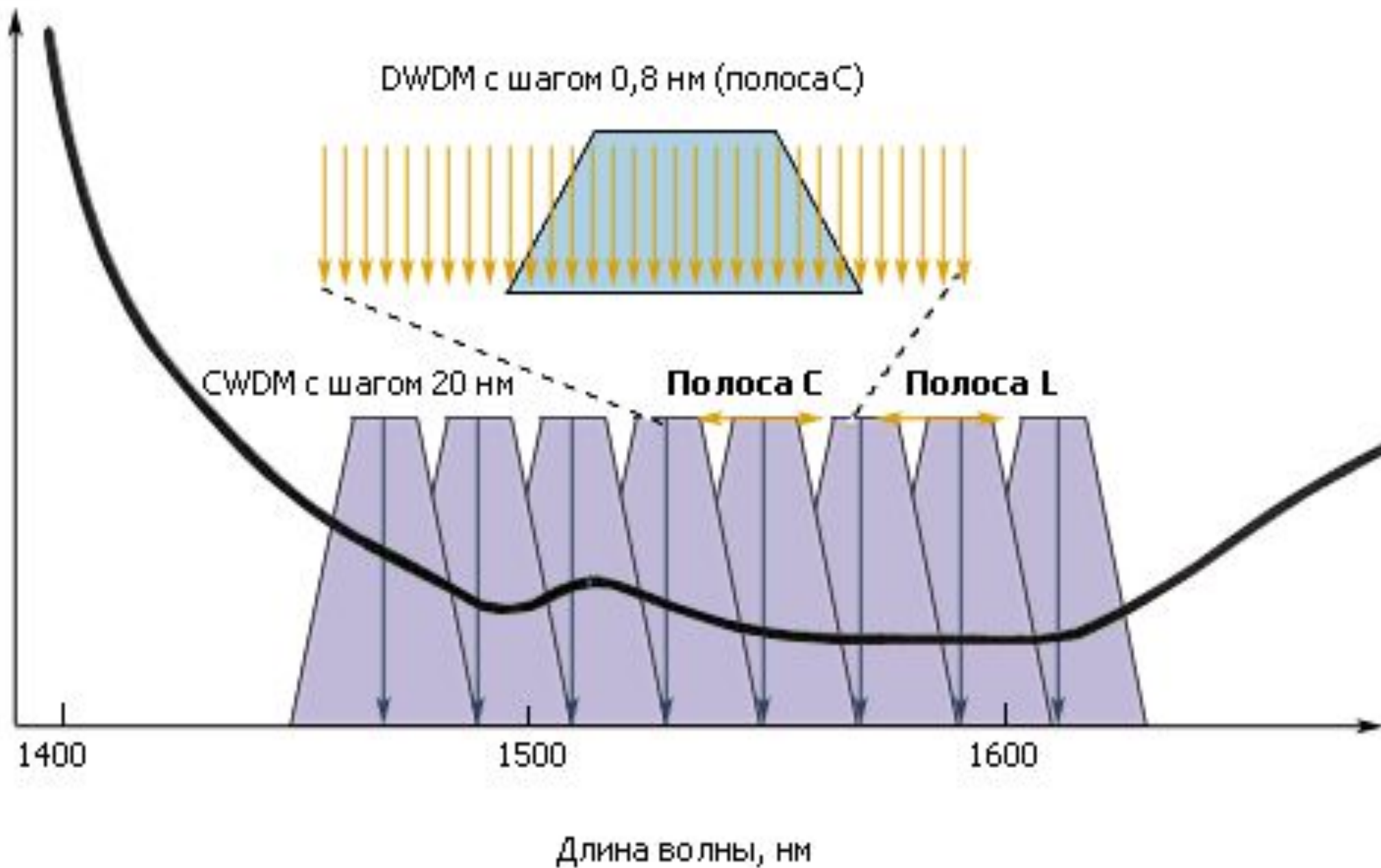


Схема спектрального мультиплексирования и демультимплексирования



Зеркальные оптические коммутаторы

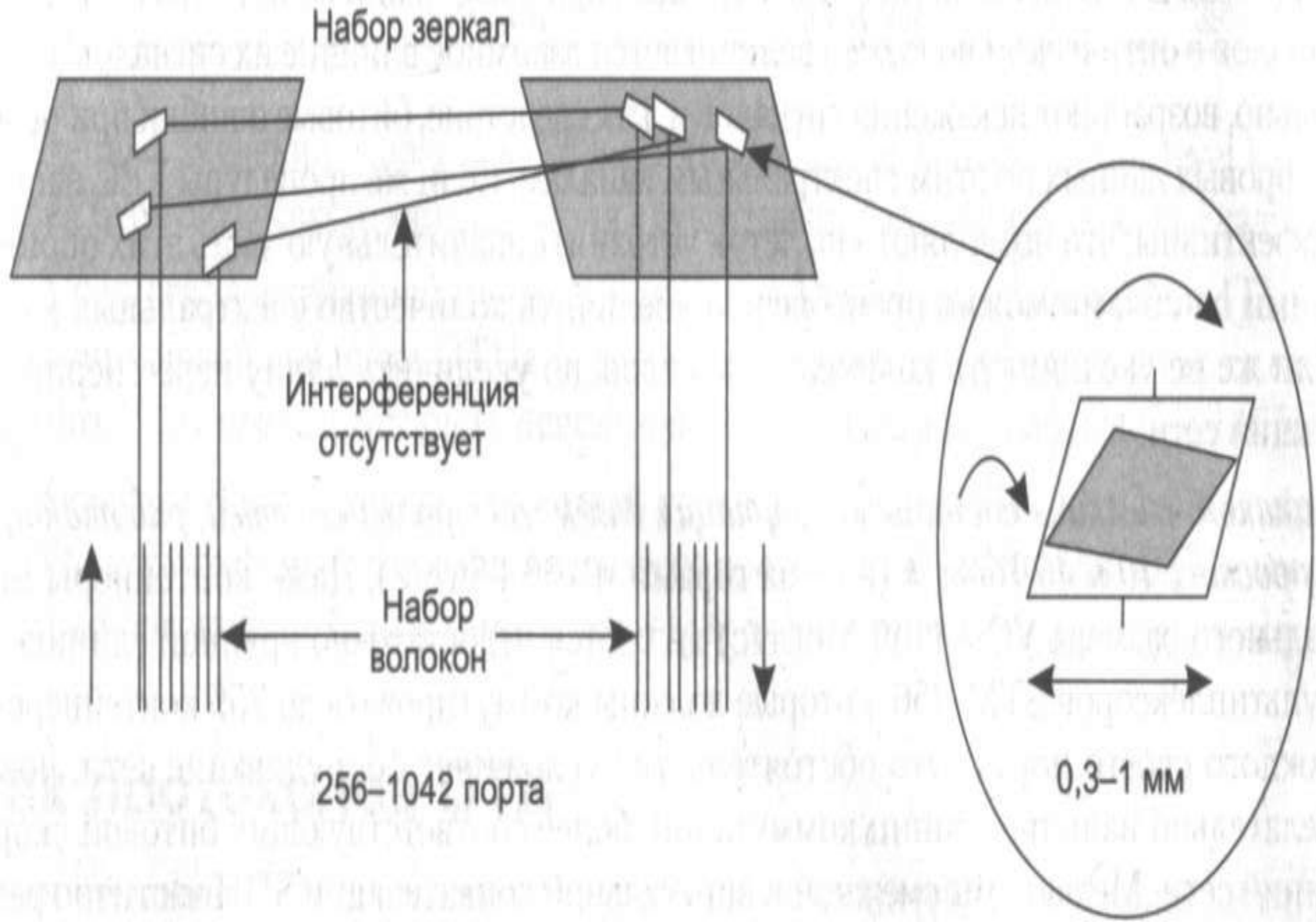
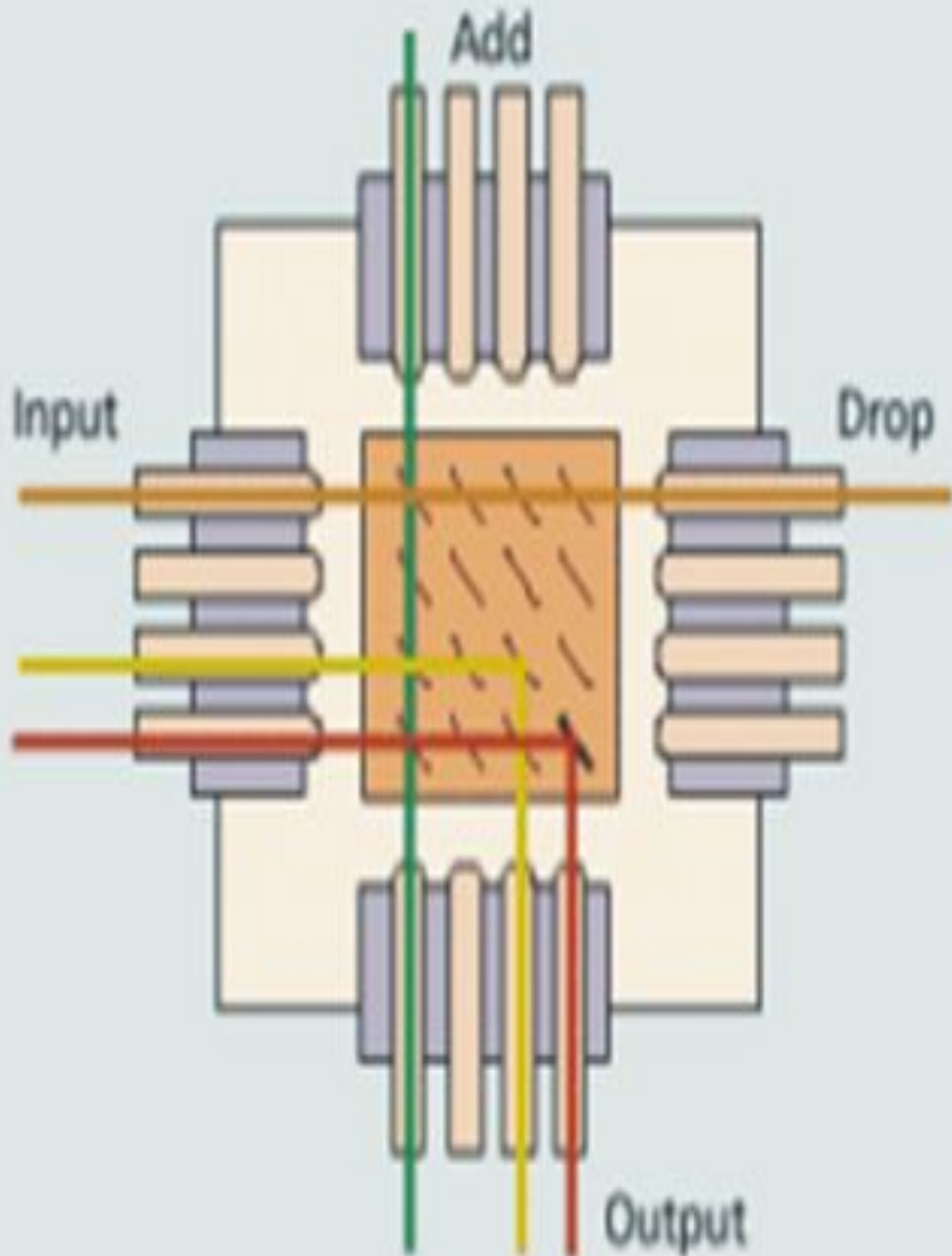
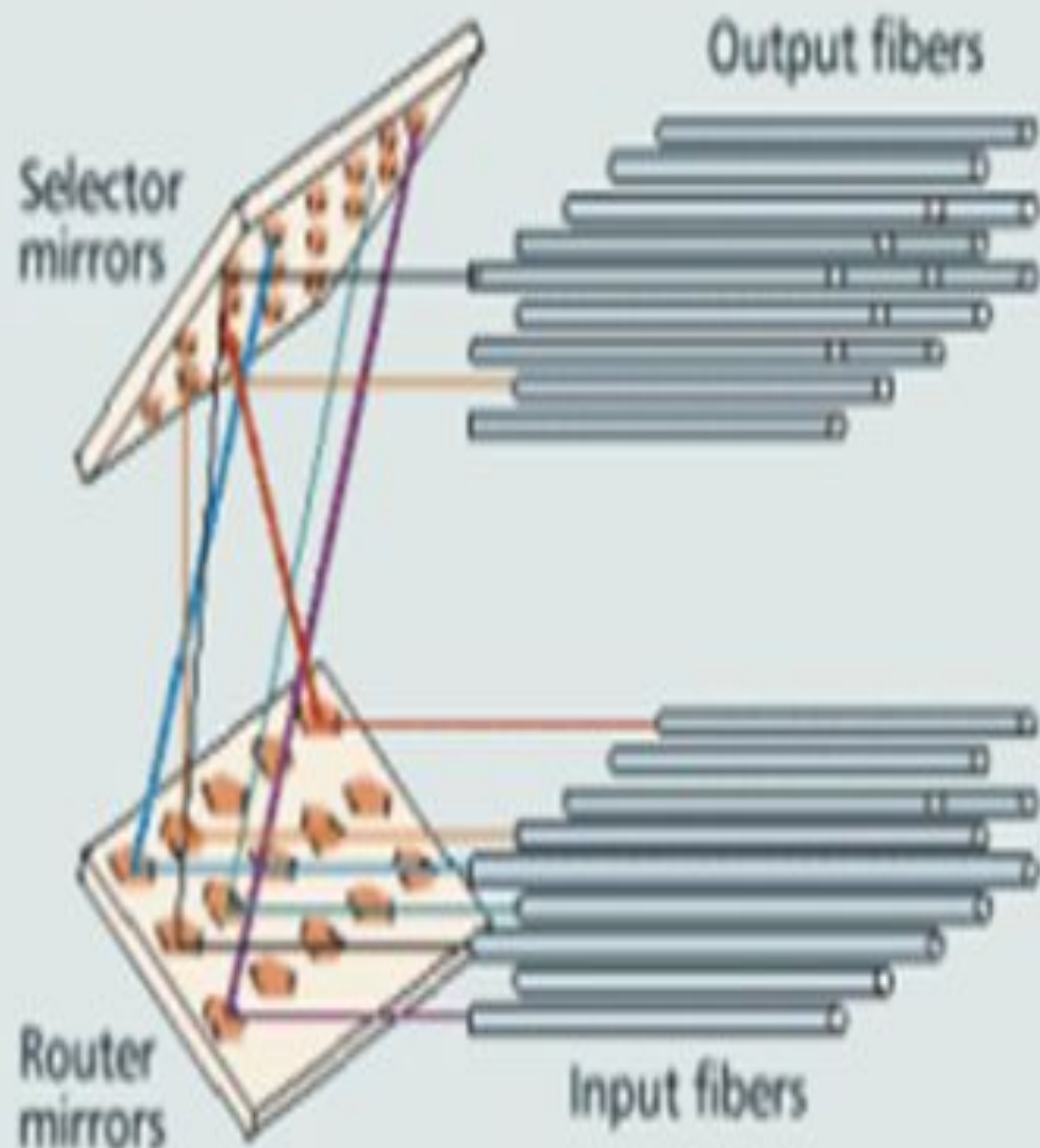


Схема зеркального оптического коммутатора



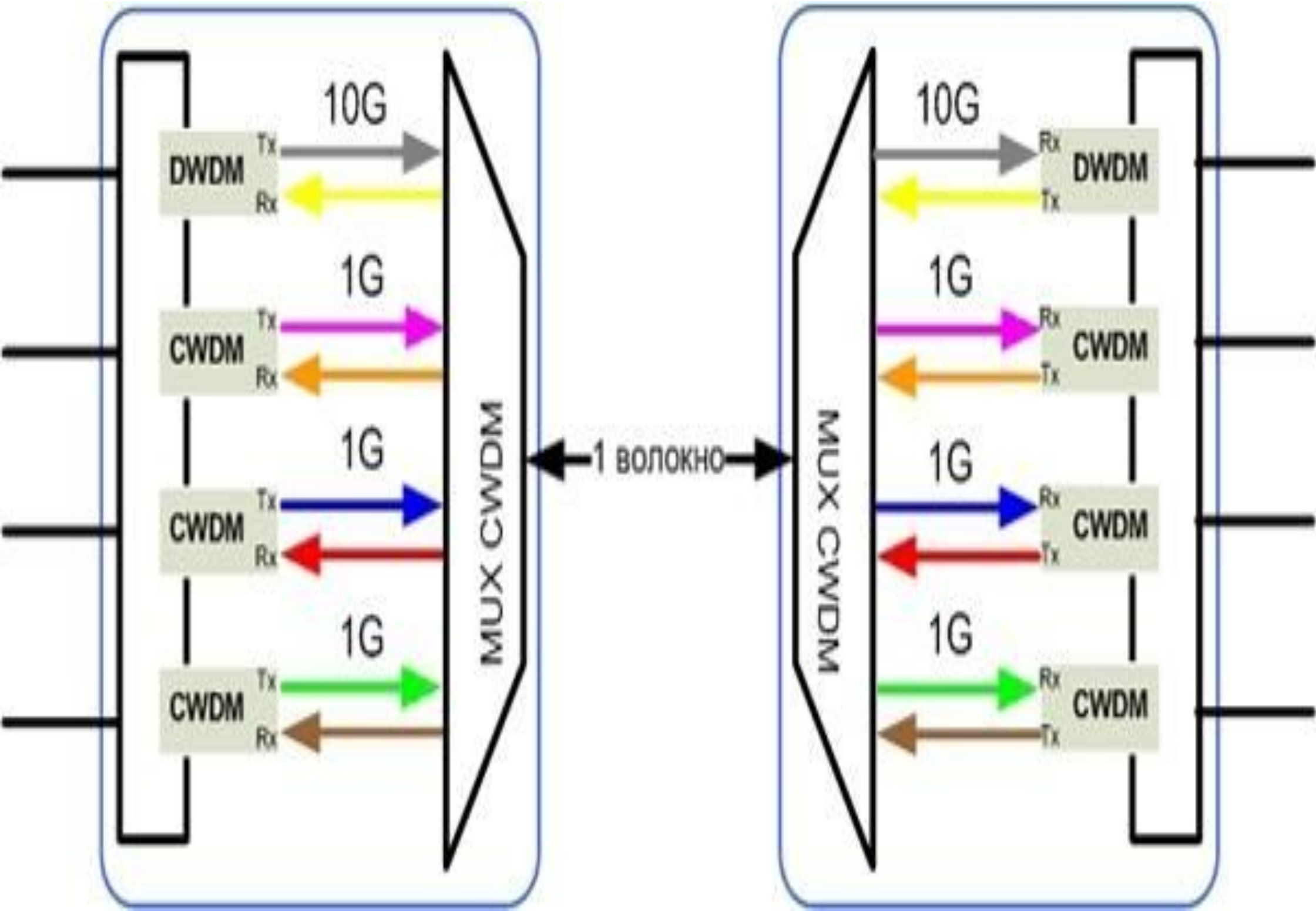
(a)



(Зеркало)

(b)

Спектральное разделение каналов



Сводные данные по технологиям спектрального уплотнения.

| | CWDM (грубое СУ) | DWDM (плотное СУ) | HDWDM (сверхплотное СУ) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 20 нм | 0.8 – 0.4 | 0.2 – 0.1 |
| Шаг каналов | 20 нм | 1,6 нм 200, 100, 50 ГГц | 0,4 нм 25, 12,5 ГГц |
| Используемые диапазоны | O, E, S, C, L | S, C, L | C, L |
| Число каналов | до 18 | десятки/сотни | Сотни |
| Относительная стоимость | низкая | высокая | высокая |

Принцип кодового разделения каналов

Информ

1

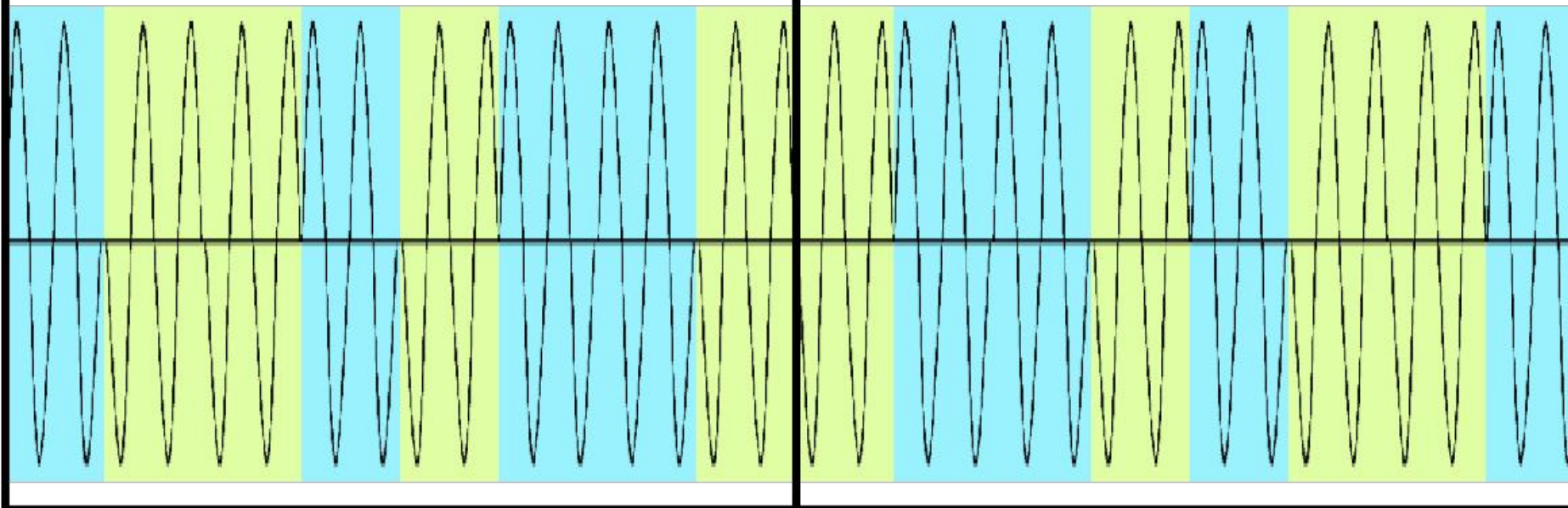
0

Код
(ПСП)

1 0 0 1 0 1 1 0

0 1 1 0 1 0 0 1

Фазово-
манипу-
лиров-
анный
сигнал



10010110 – кодовый адрес абонента для приёма «единицы» (150 дес)

01101001 -кодовый адрес абонента для приёма «нуля» **(3.84 Мчип/с)**

Длина ПСП (псевдослучайной последовательности) может меняться от 4-х до 512-и в зависимости от количества абонентов в сети и требуемой скорости передачи. В данном примере длина = 8. Повороты фаз приводят к расширению спектра сигнала.

Варианты радио-релейных линий

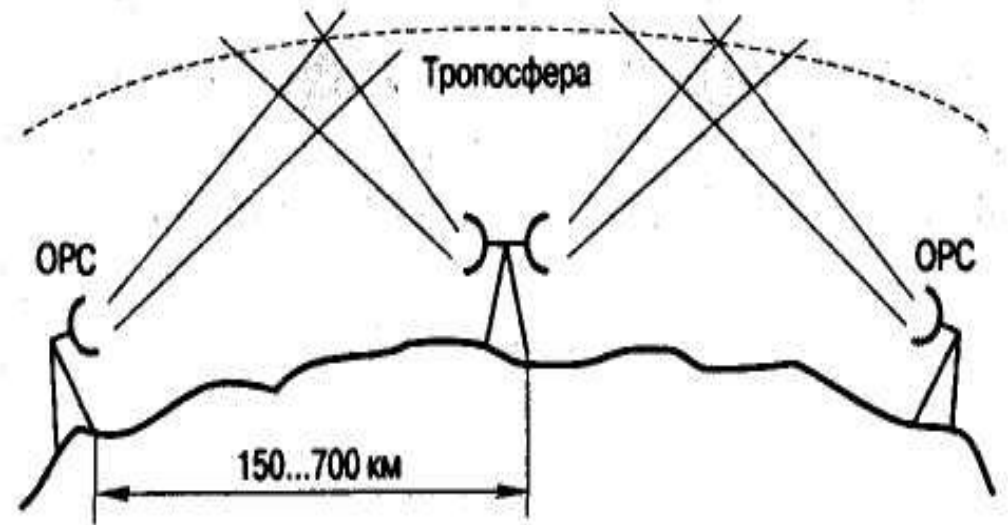
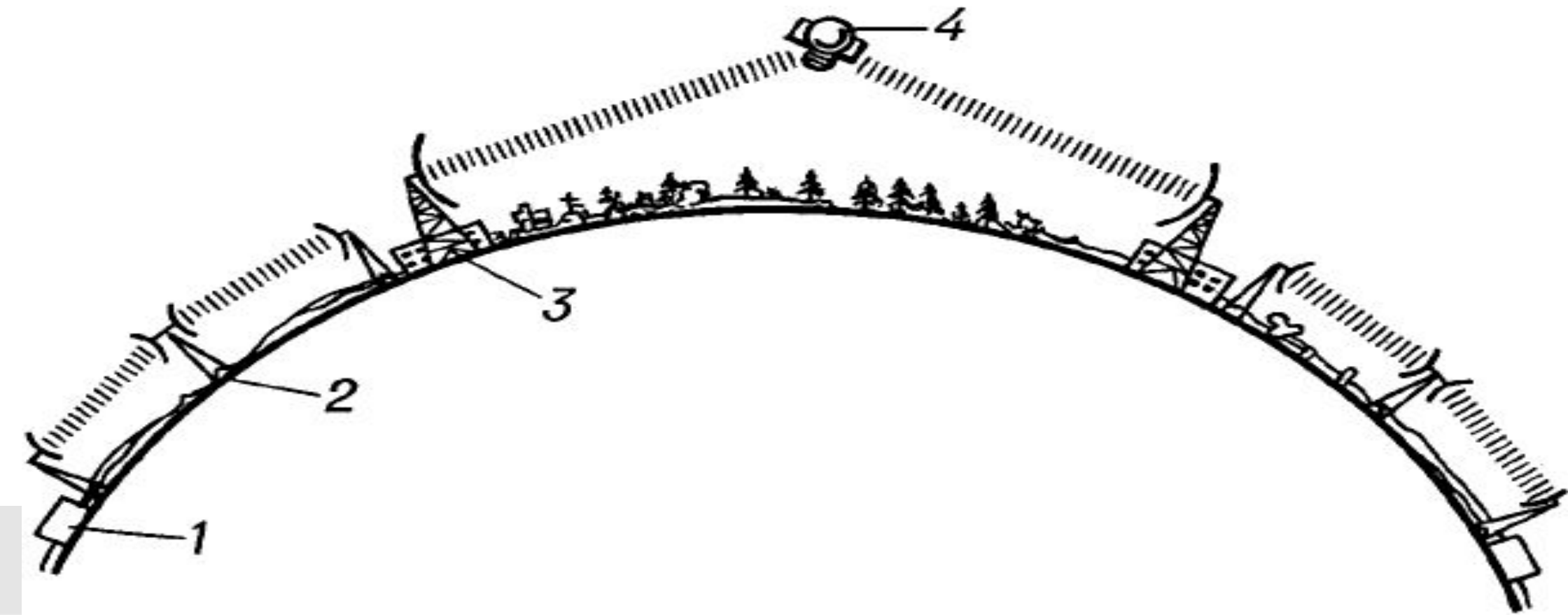


Рис. 2. Тропосферная радиорелейная линия передачи



- Рассмотрим пример:
- $P_{out} = 1\text{dBm}$ – выходная мощность передатчика;
- $S = -18\text{dBm}$ – чувствительность приемника;
- OB (optical budget) – ?
- $OB = P_{out} - S = (1 - (-18))\text{dBm} = 19\text{dBm}$

- **затухание в оптическом кабеле:**
- в мультимодовом кабеле (850нм) – 2.7 dB/км;
- в мультимодовом кабеле (1310нм) – 0.75 dB/км;
- в одномодовом кабеле (1310-1450нм) – 0.35 dB/км;
- в одномодовом кабеле (1470-1610нм) – 0.25 dB/км;

- **точки соединения:**
- коннекторы, MM – 0.5dB;
- коннекторы, SM – 0.3dB;
- на сварке – 0.1dB.

Пример расчёта бюджета мощности

- Рассмотрим пример расчета затуханий в линии:
- $L=60\text{км}$ – длина одномодового оптического кабеля;
- $\lambda=1310\text{нм}$ – рабочая длина волны \Rightarrow коэффициент затухания для одномодового оптического кабеля 0.35дВ/км ;
- известно, что на линии есть 2 коннектора и 1 место сварки, которые вносят дополнительные затухания (0.3дВ и 0.1дВ соответственно);
- Z (затухания в линии) – ?
- $Z=L*0.35+2*0.3+1*0.1 = (60*0.35+0.6+0.1)\text{дВ} = (21+0,7)\text{дВ} = 21.7\text{дВ}$
- Чтобы передать сигнал по линии с таким затуханием необходимо подобрать трансивер с оптическим бюджетом больше 21.7дВ .
- Для обеспечения надежной работы оптической системы учитывают возможность увеличения оптических потерь при изменении внешних факторов и ухудшении характеристик компонентов ВОЛС и мощности лазера, связанных с их старением. Для компенсации данных потерь обычно выбирают оптический бюджет трансиверов с запасом на $3\text{-}6\text{дВ}$.

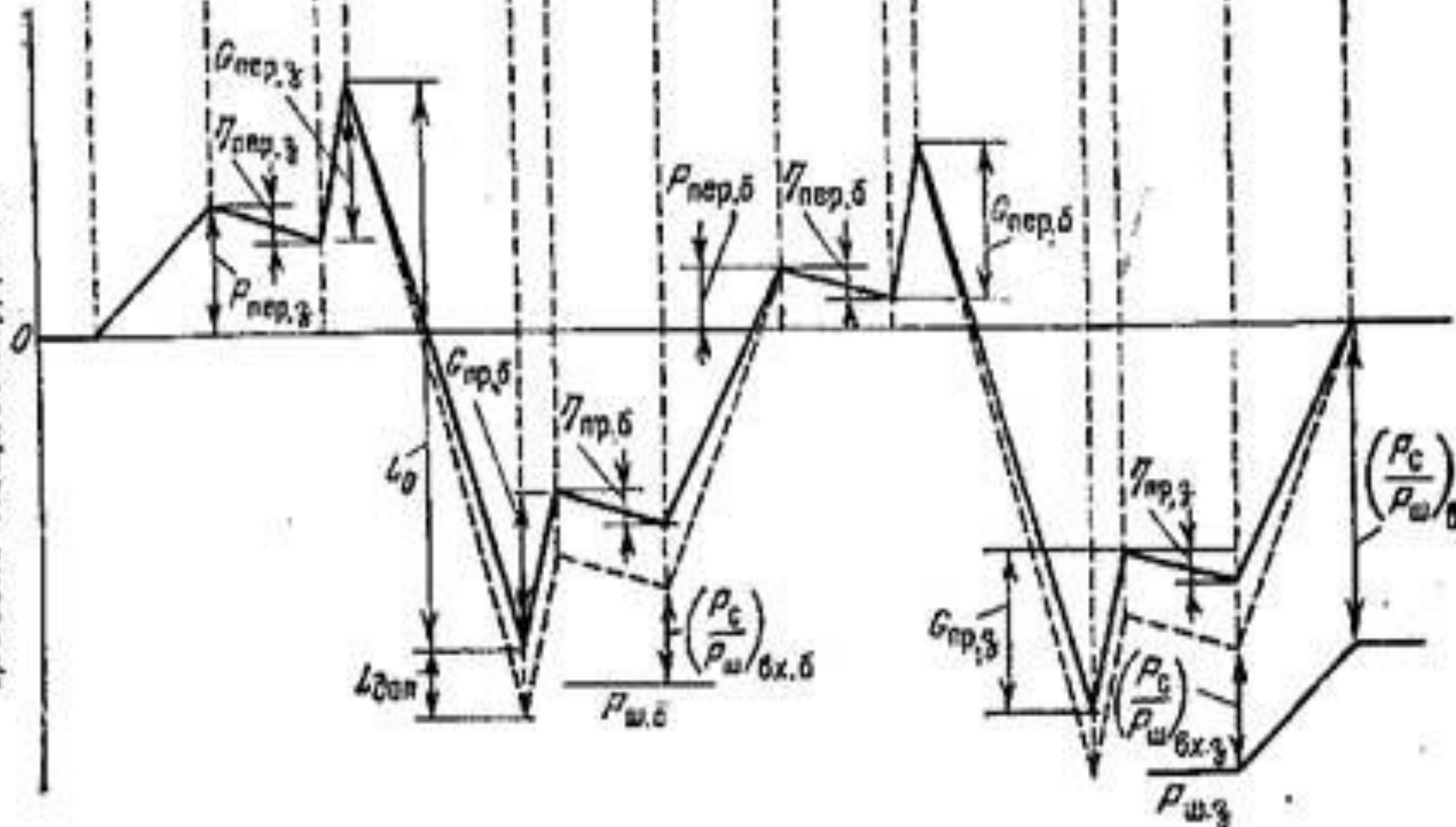
Уровень мощности, дБ Вт

Волноводные тракты

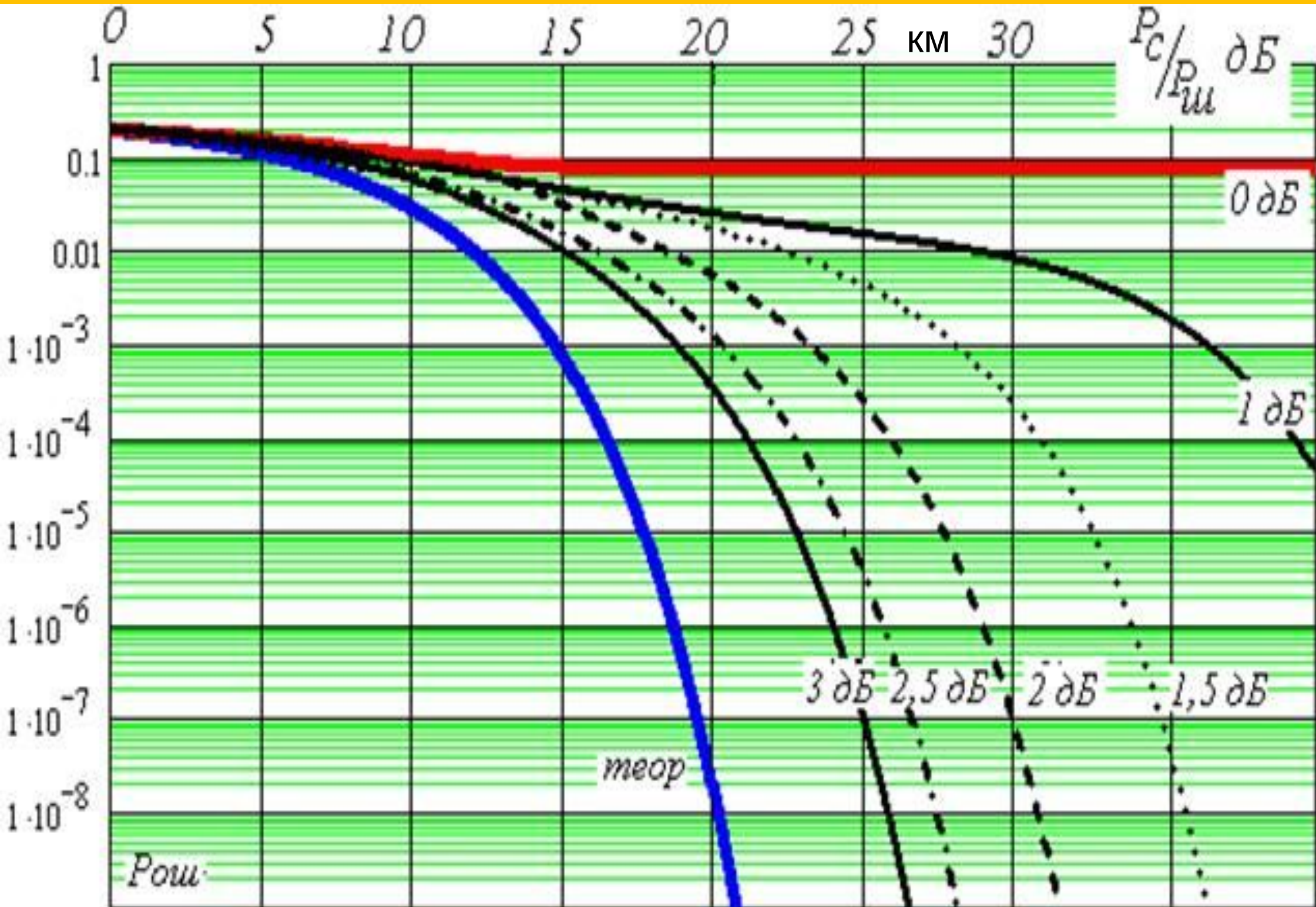
Земной передатчик

Резонатор

Земной приемник



Вероятность ошибок в радио-линии



Что лучше? 1 канал 1000 Мбит/с или 10 каналов по 100 Мбит/с

Длина пакета $L = 1500$ байт. Скорости каналов: $C_1 = 100$ Мбит/с $C_2 = 1000$ Мбит/с.

Тогда времена передачи этих пакетов по каналам будут равны:

$$t_1 = 8L / C_1 = 8 \cdot 1500 \text{ бит} / 100 \text{ Мбит/с} = 120 \text{ мкс}$$

$$t_2 = 8L / C_2 = 8 \cdot 1500 \text{ бит} / 1000 \text{ Мбит/с} = 12 \text{ мкс}$$



Очевидное преимущество одного скоростного канала

**4. Надёжность
телекоммуникационных
сетей
(Основные определения)**

Параметры надёжности сетей, систем и устройств

Надёжность какого-либо объекта (сеть, система, устройство и т.д.) – свойство выполнять определённые функции в определённых условиях эксплуатации.

Отказ сети – переход её в такое состояние, когда она не может выполнять свои основные функции. Эти функции должны фиксироваться в техническом задании (ТЗ), согласованном между заказчиком и разработчиком сети.

Различают структурную и алгоритмическую надёжности.

Главный показатель надёжности – коэффициент готовности

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + \tau}$$

T_o – среднее время наработки на отказ сети (устройства)

τ – среднее время восстановления работоспособности сети (устройства)

Типичные значения коэффициентов готовности в сетях

0.999 - 8 часов простоя в год,

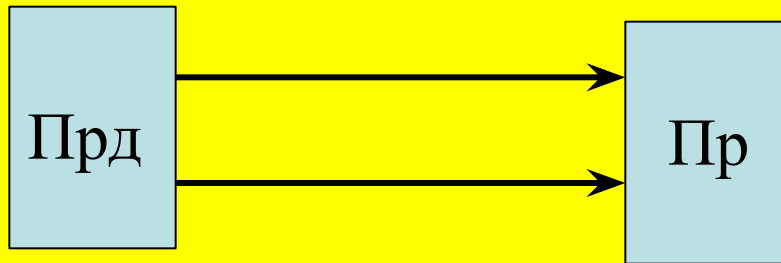
0.9999 - 50 минут простоя в год,

0.99999 - 5 минут простоя в год,

0.999999 - 30 сек простоя в год,

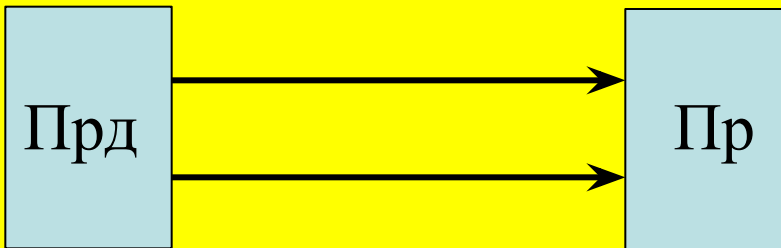
Схемы резервирования в ОВ линиях

1 : 1



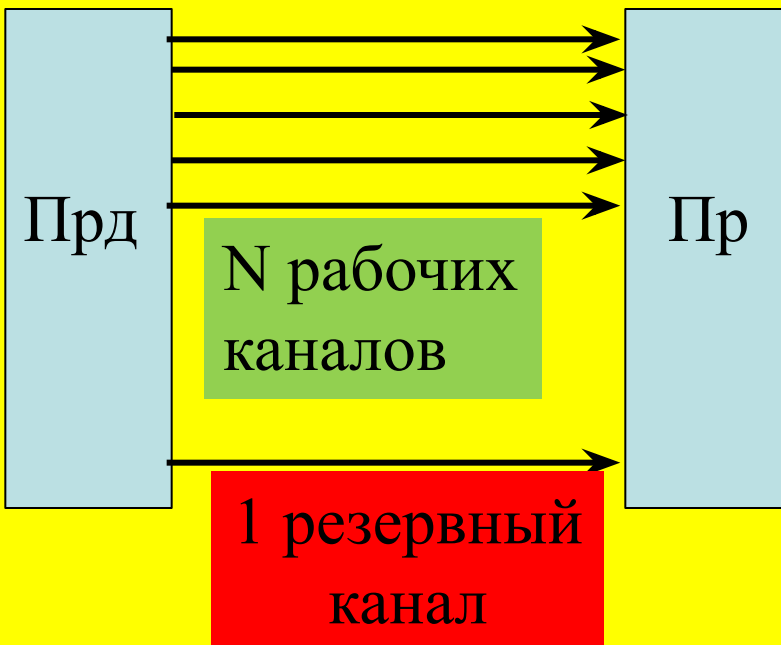
Передача ведётся только по одному каналу. Второй канал в горячем резерве. При отказе автоматич. переход на резерв

1 + 1



Передача ведётся одновременно по 2-м каналам. Приёмник непрерывно выбирает лучший по качеству канал

N : 1



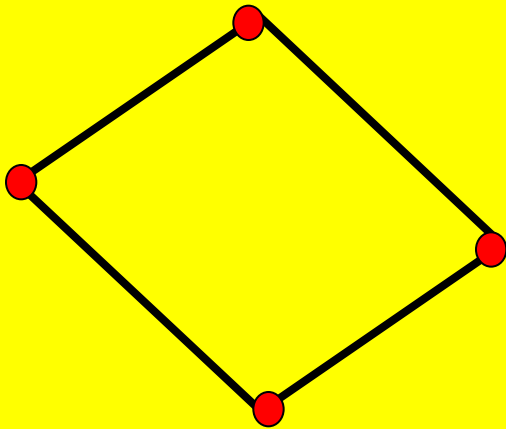
Резервный канал может при необходимости заменить любой из отказавших рабочих

В технологии SDH время переключения на резерв не превышает 50 мс

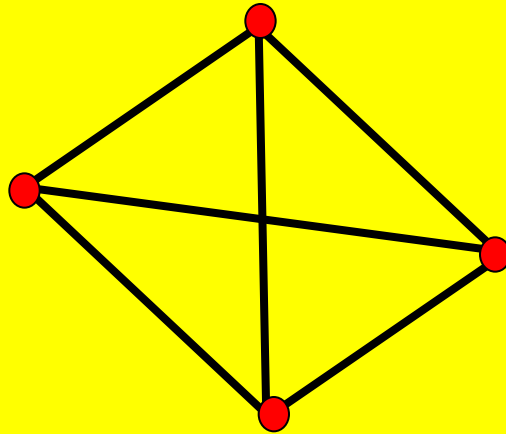
Показатели надёжности структуры сети сети

1. Самый простой показатель надёжности сети – ранг сети r .

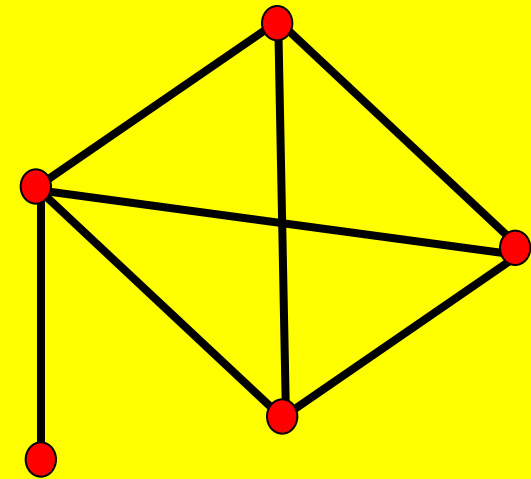
Ранг сети равен минимальному рангу среди всех его сечений.



$$r = 2$$

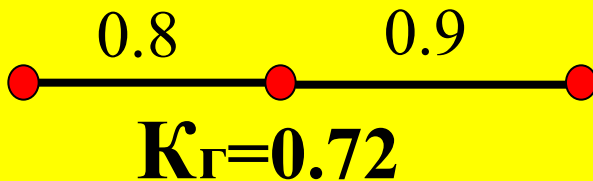


$$r = 3$$

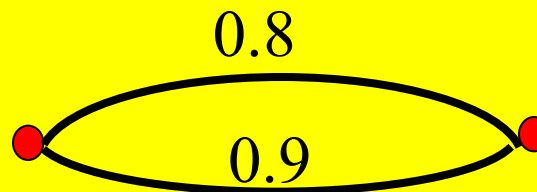


$$r = 1$$

2. Более точные оценки должны учитывать K_r узлов и ветвей



$$K_r = 0.72$$



$$K_r = 1 - (1 - 0.8)^* \\ (1 - 0.9) = 0.98$$

3. Анализ более сложных структур (не приводимых к последовательно-параллельным схемам как, например, мост)

возможен только методами имитационного моделирования

Причины отказов в сетях связи

| Группа факторов | Доля от общего количества отказов, % | Потери пользовательского времени, % |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Отказы технических средств | 19 | 7 |
| Перегрузки сети | 6 | 44 |
| Ошибки ПО | 14 | 2 |
| Ошибки персонала | 25 | 14 |
| Вандализм | 1 | 1 |
| Непреднамеренная разрушительная деятельность людей | 24 | 14 |
| Природные явления | 11 | 18 |

**5. Телефонная сеть
общего пользования
(ТФОП)**

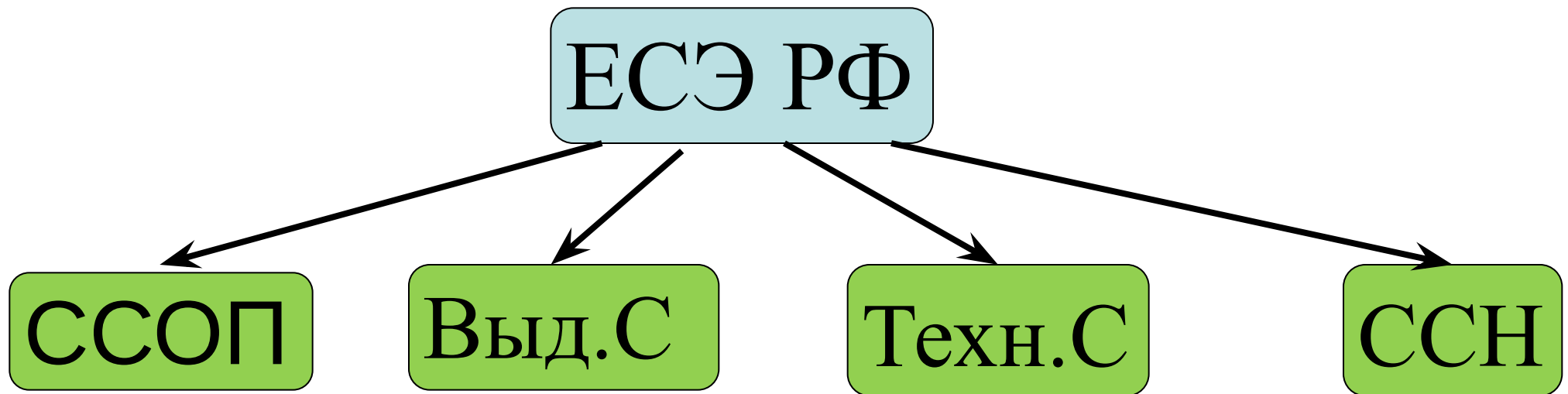
Сеть связи Российской Федерации

СС РФ

```
graph TD; A[СС РФ] --> B[Единая сеть электросвязи (ЕСЭ)]; A --> C[Почтовая связь (ПС)];
```

Единая сеть
электросвязи
(ЕСЭ)

Почтовая
связь
(ПС)



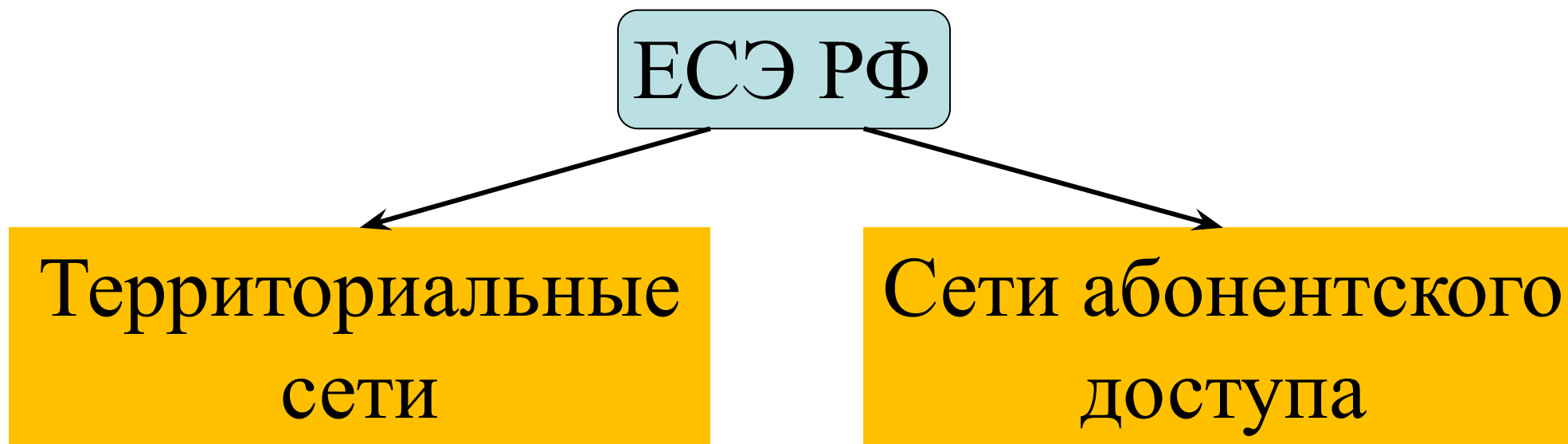
ССОП – Сети связи общего пользования

**Выд.С – Выделенные сети связи
(не имеют выходов в ССОП)**

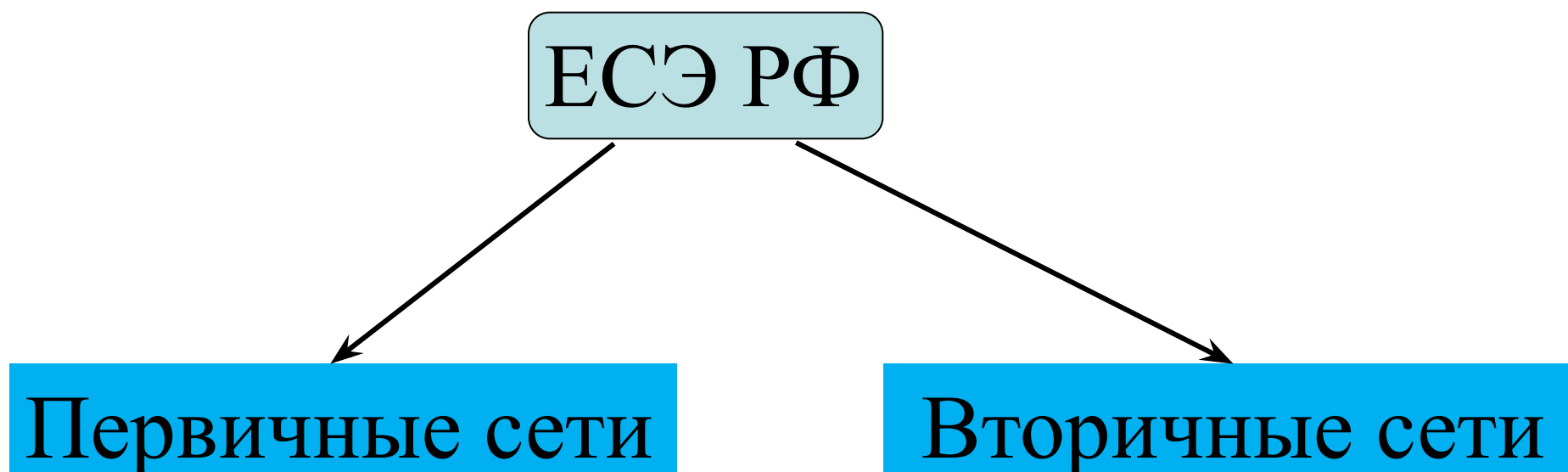
Техн.С – Технологические сети

ССН – сети специального назначения

Классификация ЕСЭ РФ по функциональному признаку



Классификация ЕСЭ РФ по способам организации каналов



Первичные и вторичные сети

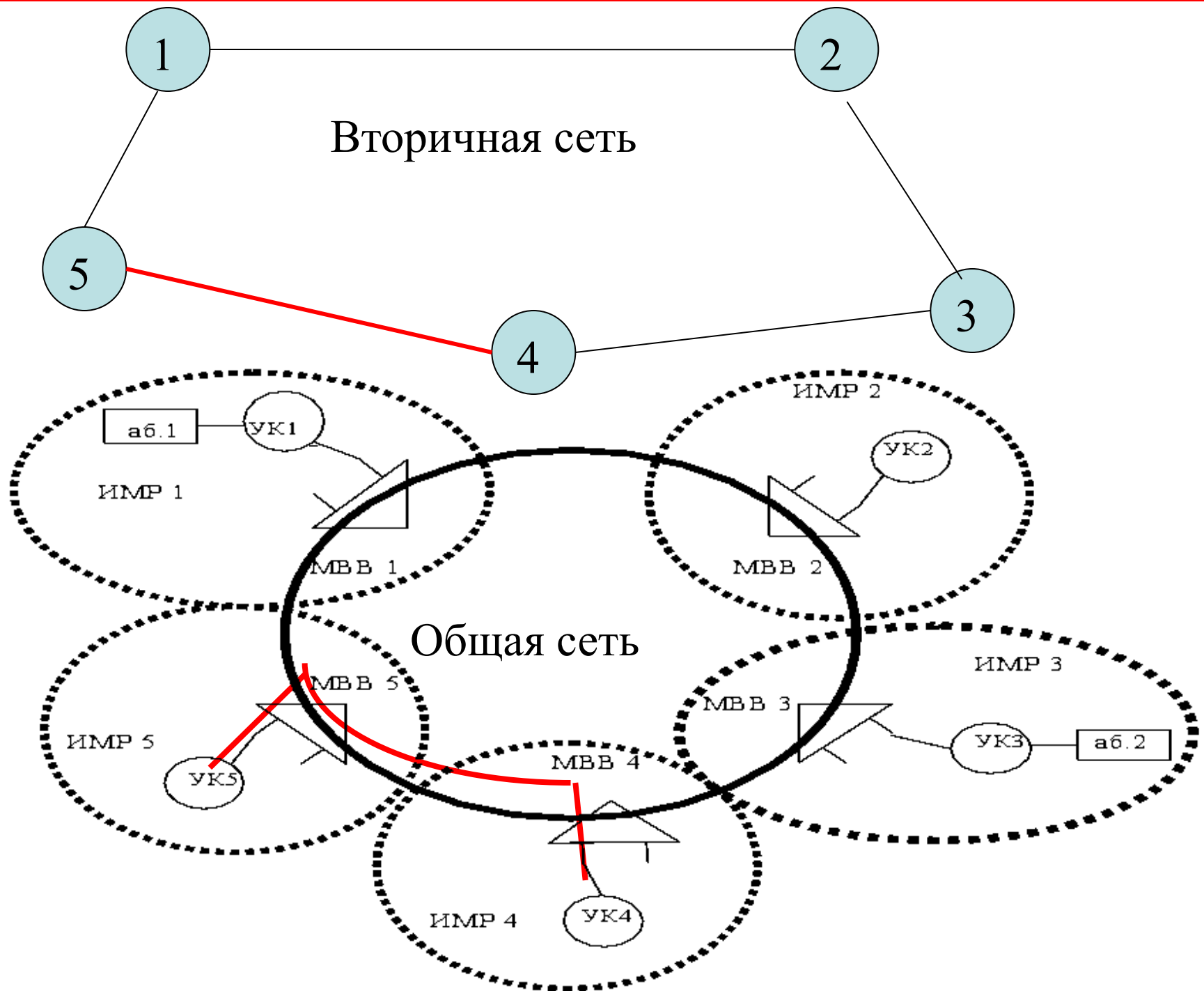
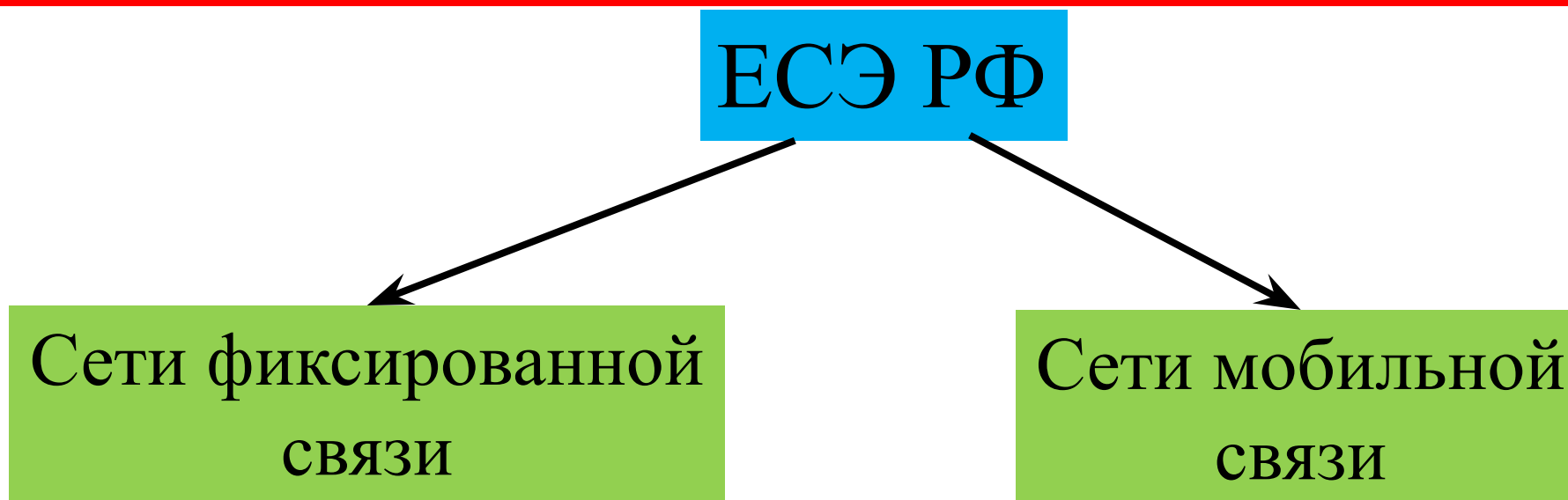
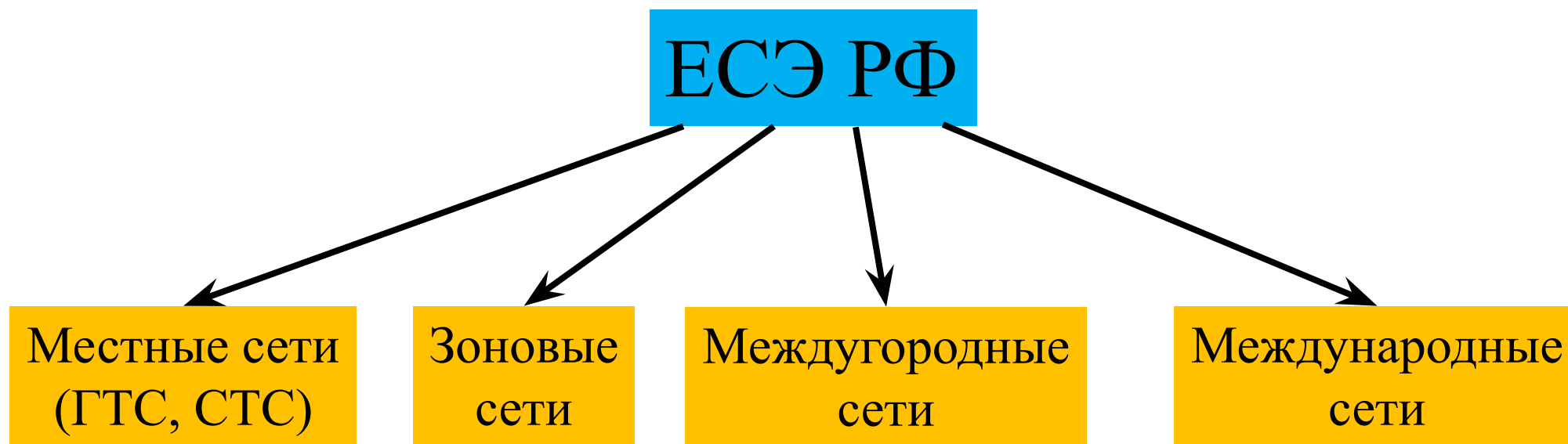


Рис. 4. Обобщенная структура мультисервисной сети

Классификация ЕСЭ РФ по типу абонентского терминала



Классификация ЕСЭ РФ по территориальному делению



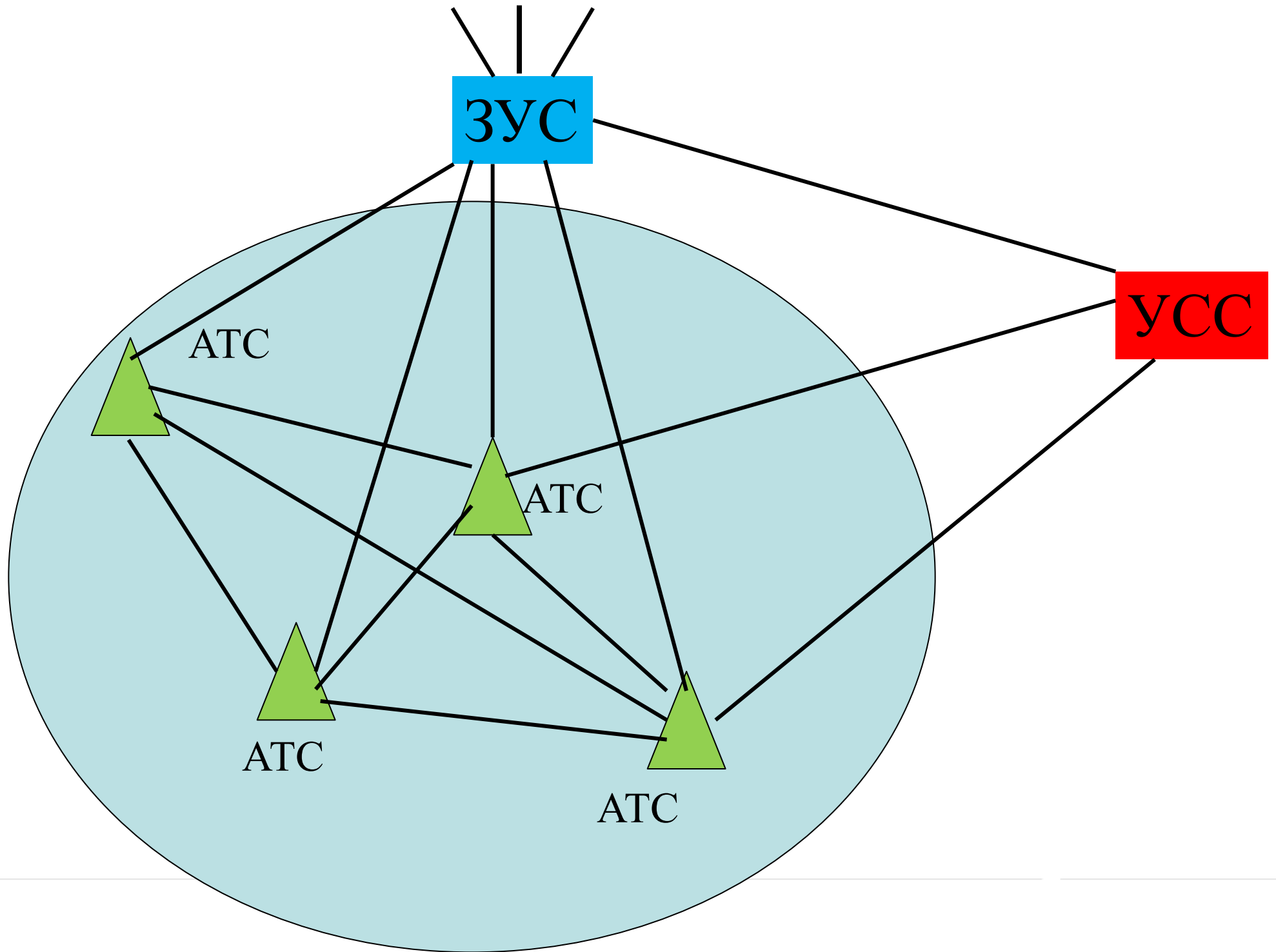
Взаимодействие магистральной сети с сетями абонентского доступа



Структура телефонной сети общего пользования

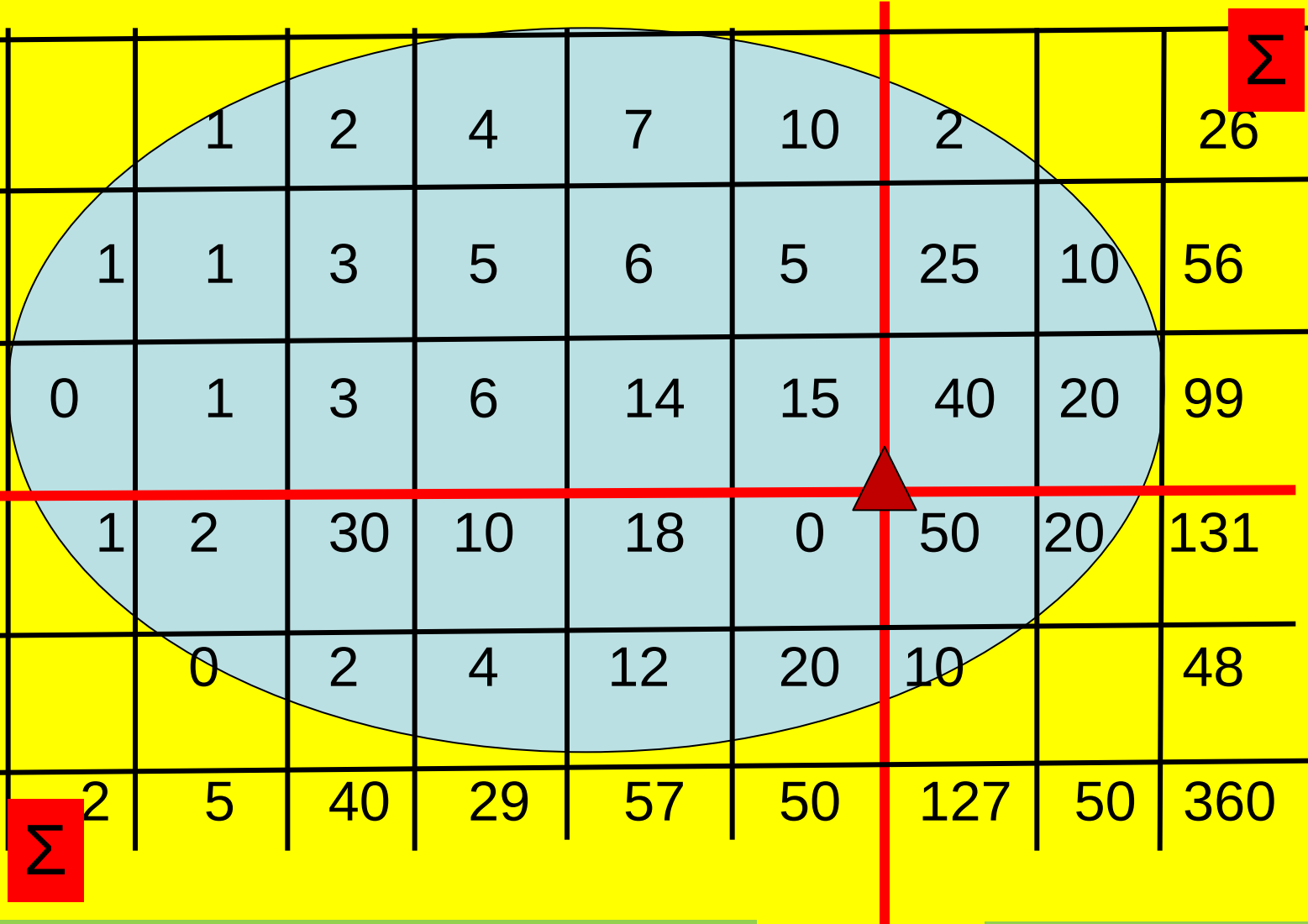


Структура районированной ГТС



Определение телефонного центра в телефонном районе. Метод Раппа

На территории района – 36000 абонентов (Числами указаны сотни).
Территория разбита на квадраты (сторона квадрата $\approx 300 \div 500$ м)



1. Прокладывается такая вертикаль, чтобы слева и справа от неё было примерно одинаковое число абонентов

Сверху – 181 сотня
Снизу – 179 сотен

2. Прокладывается такая горизонталь, чтобы сверху и снизу от неё было примерно одинаковое число абонентов

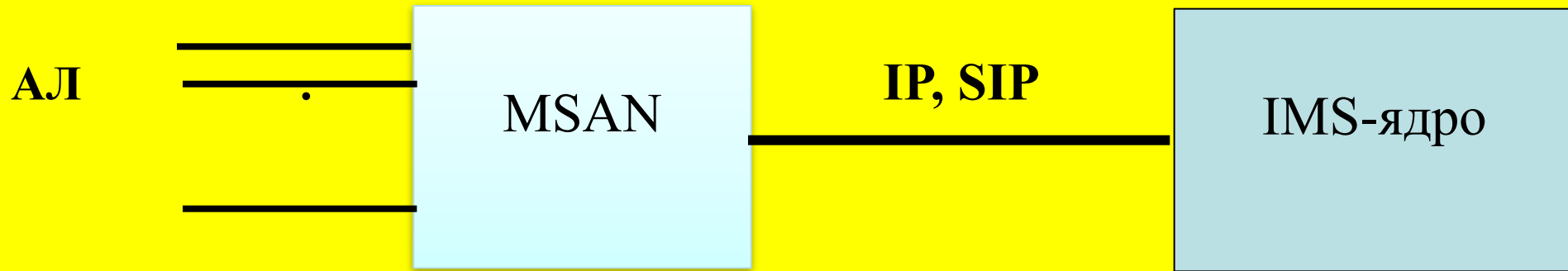
Слева 183 сотни абонентов

Справа 177 сотен абонентов

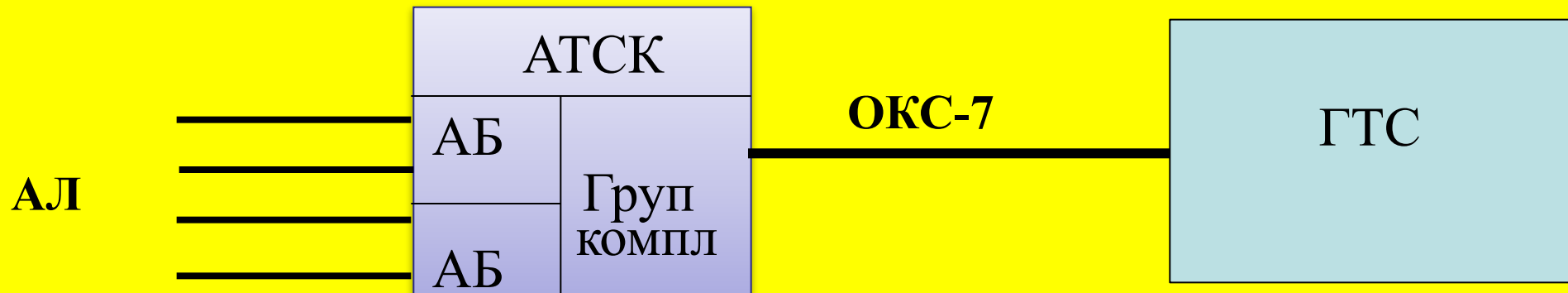
Рапп доказал, что если АТС расположить в точке пересечения этих линий, то сумма всех абонентских линий ΣL_i будет минимальна

Медиатор плана нумерации

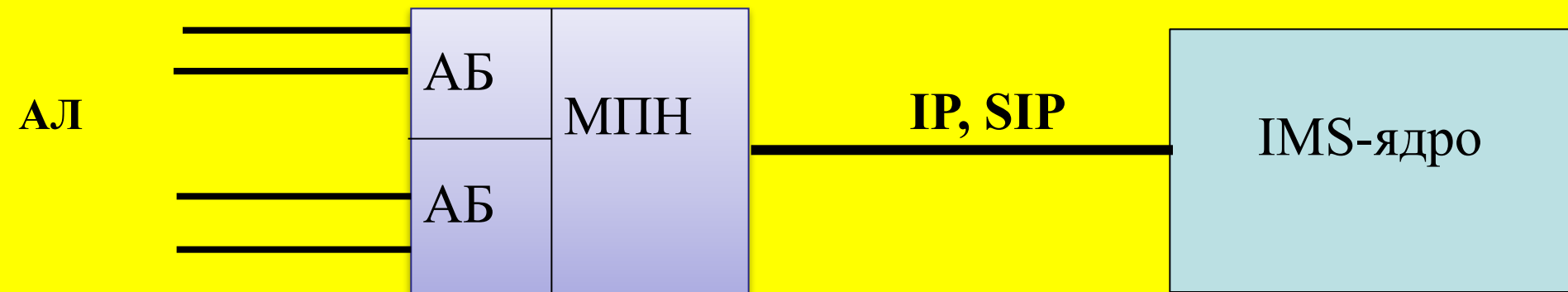
Преобразование систем сигнализации: ОКС-7 \rightleftharpoons SIP



MSAN – мультисервисная платформа абонентского доступа



АЛ – абонентские линии



Функции МПН

Медиатор плана нумерации (МПН) предназначен для обеспечения стыковки аналоговых АТС типа АТСК, АТСКУ, АТСДШ с IP-сетями, возможности перехода аналоговых АТС на закрытый план нумерации. МПН преобразует речевую информацию, поступающую со стороны аналоговых АТС, в вид, пригодный для передачи по IP-сетям. МПН осуществляет кодирование информации, упаковку речевой информации в пакеты RTP/IP, а также обратное преобразование. МПН может поддерживать обмен сигнальными сообщениями как с коммутационным или терминальным оборудованием аналоговых АТС, так и с гейткипером/программным коммутатором или оконечным устройством сети IP-телефонии. Один развёрнутый МПН, обеспечивает 1200 «соединительных линий» для абонентов обслуживаемой станции.

Структура ГТС с узловыми районами

▲ - АТС

■ УСС – узел спец связи

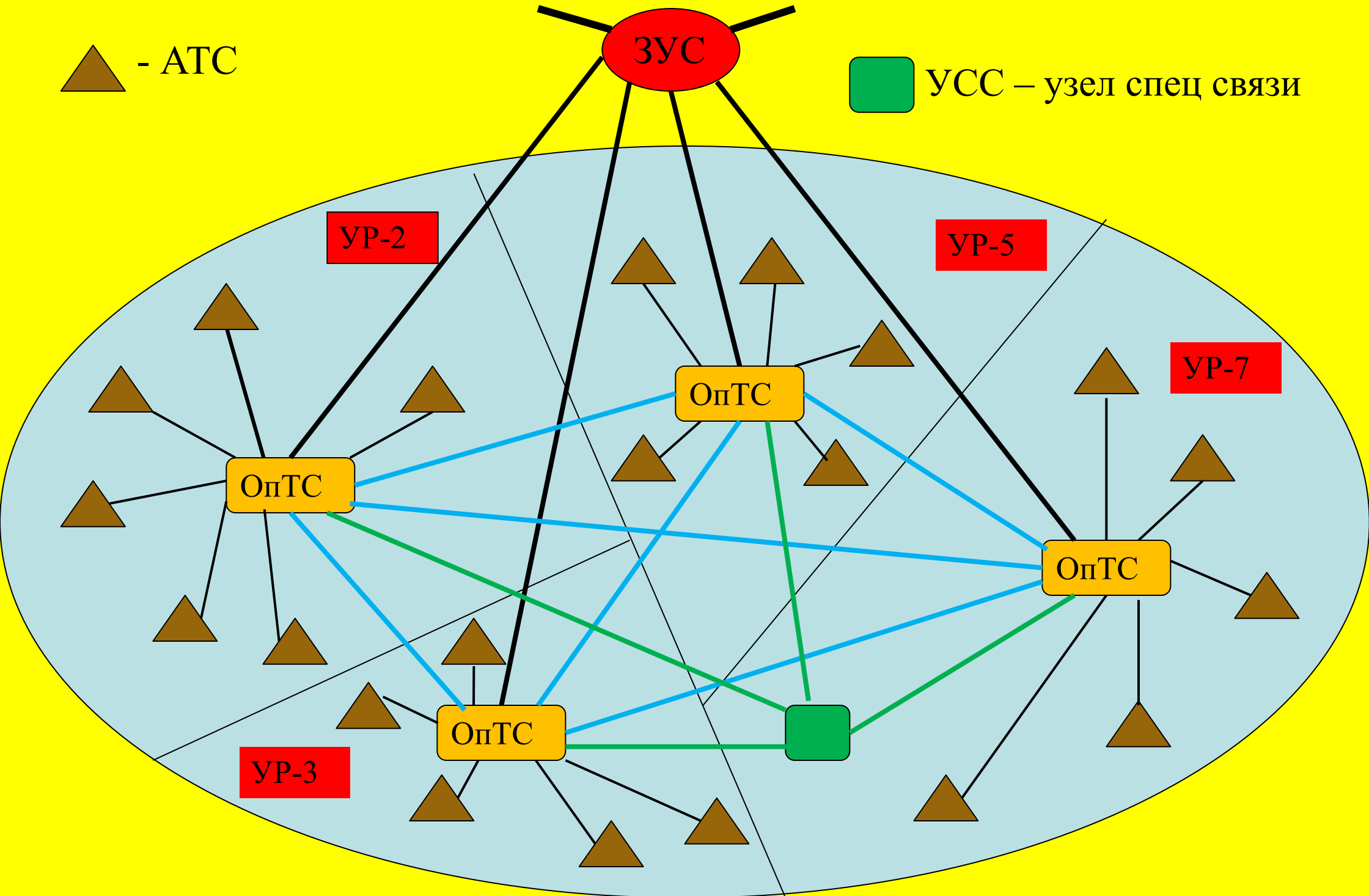


Схема организации ГТС г. Ростова-на-Дону (2005 г.)

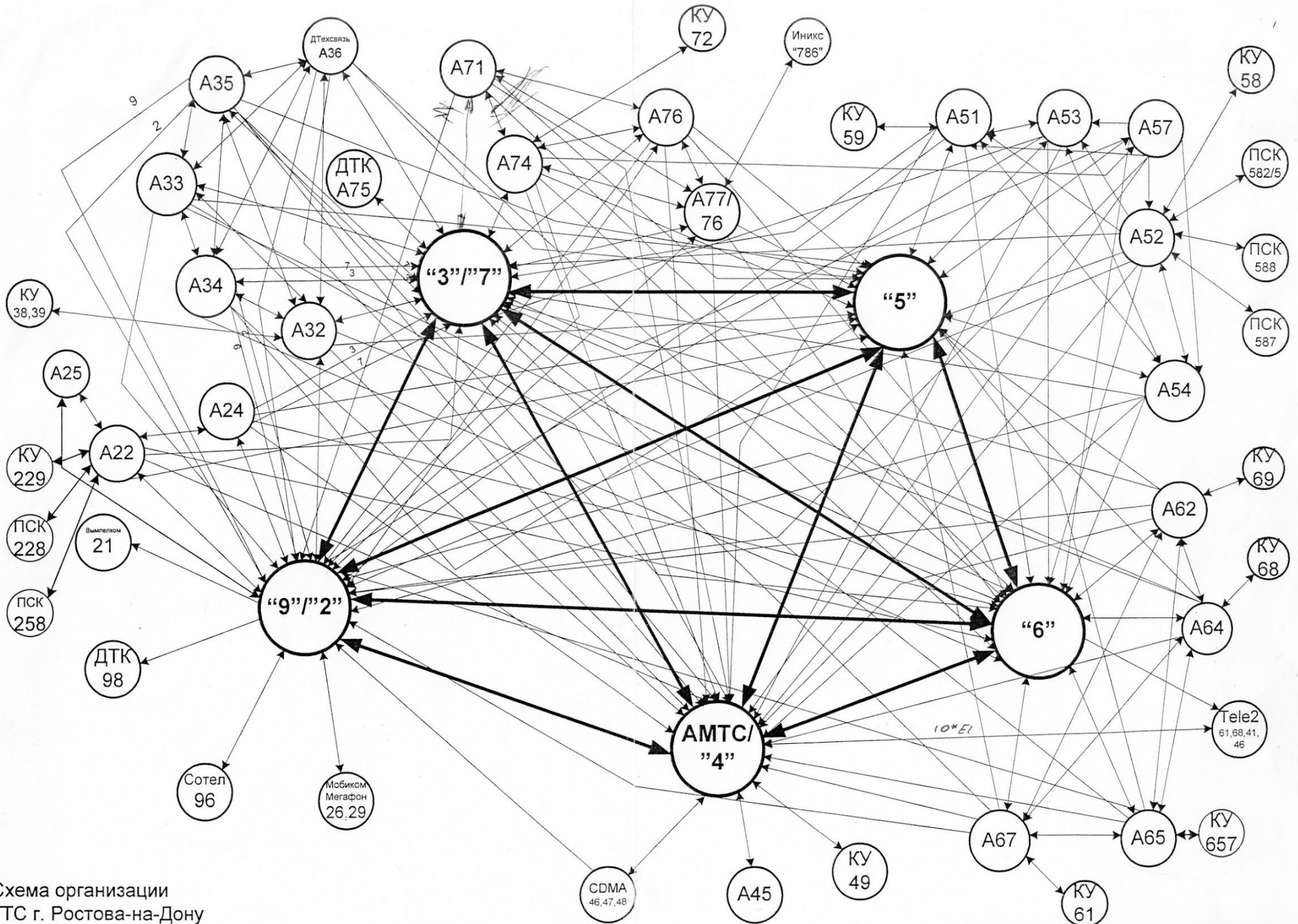
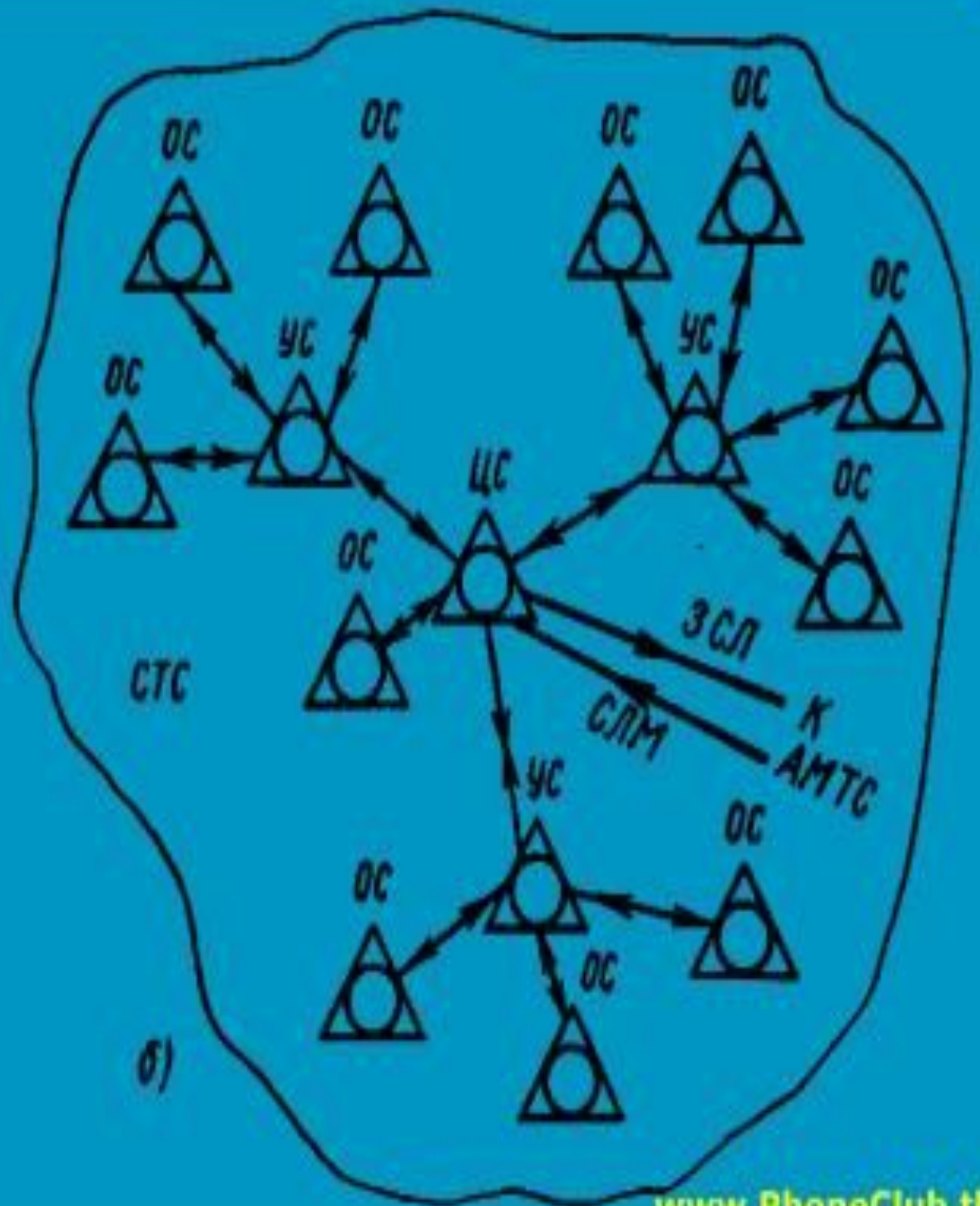
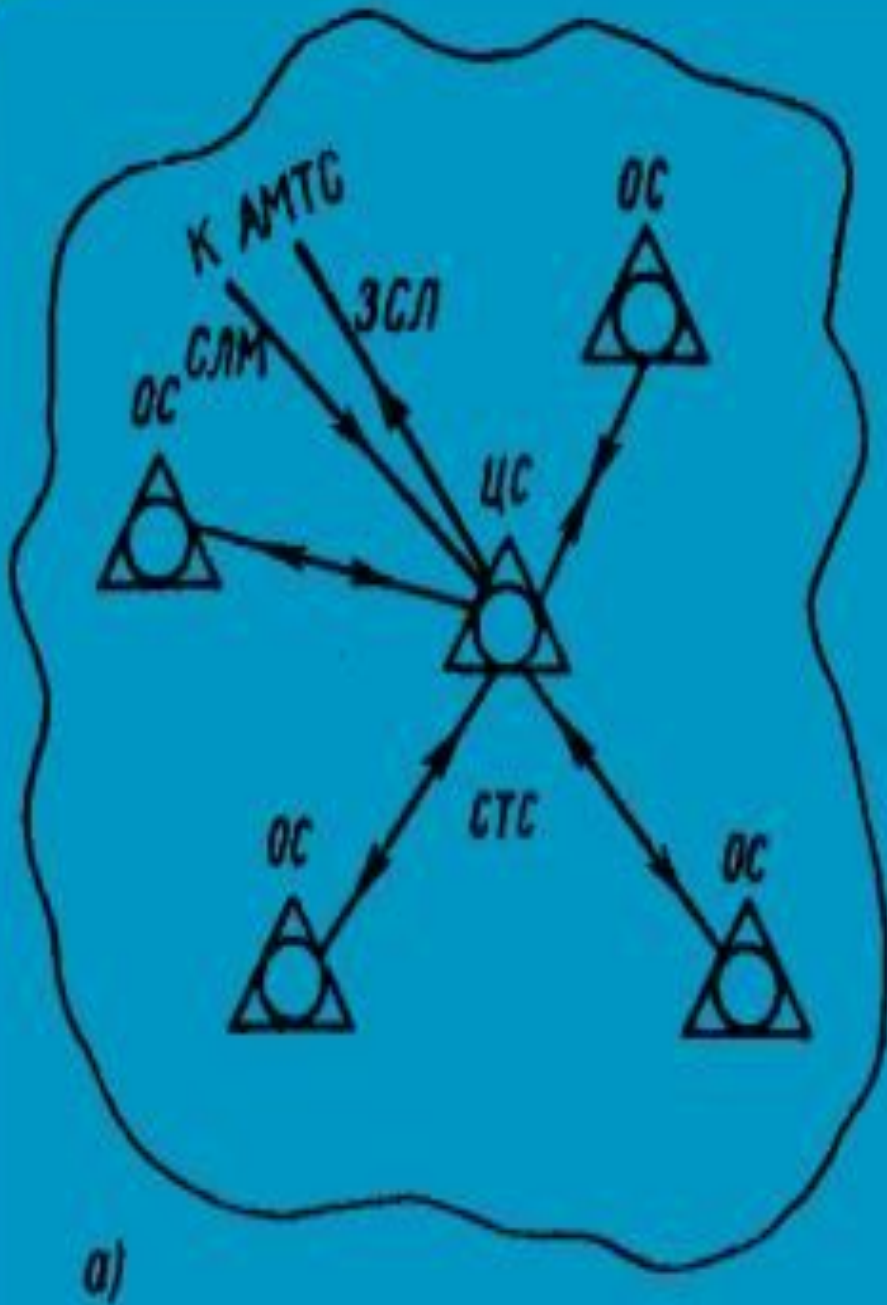
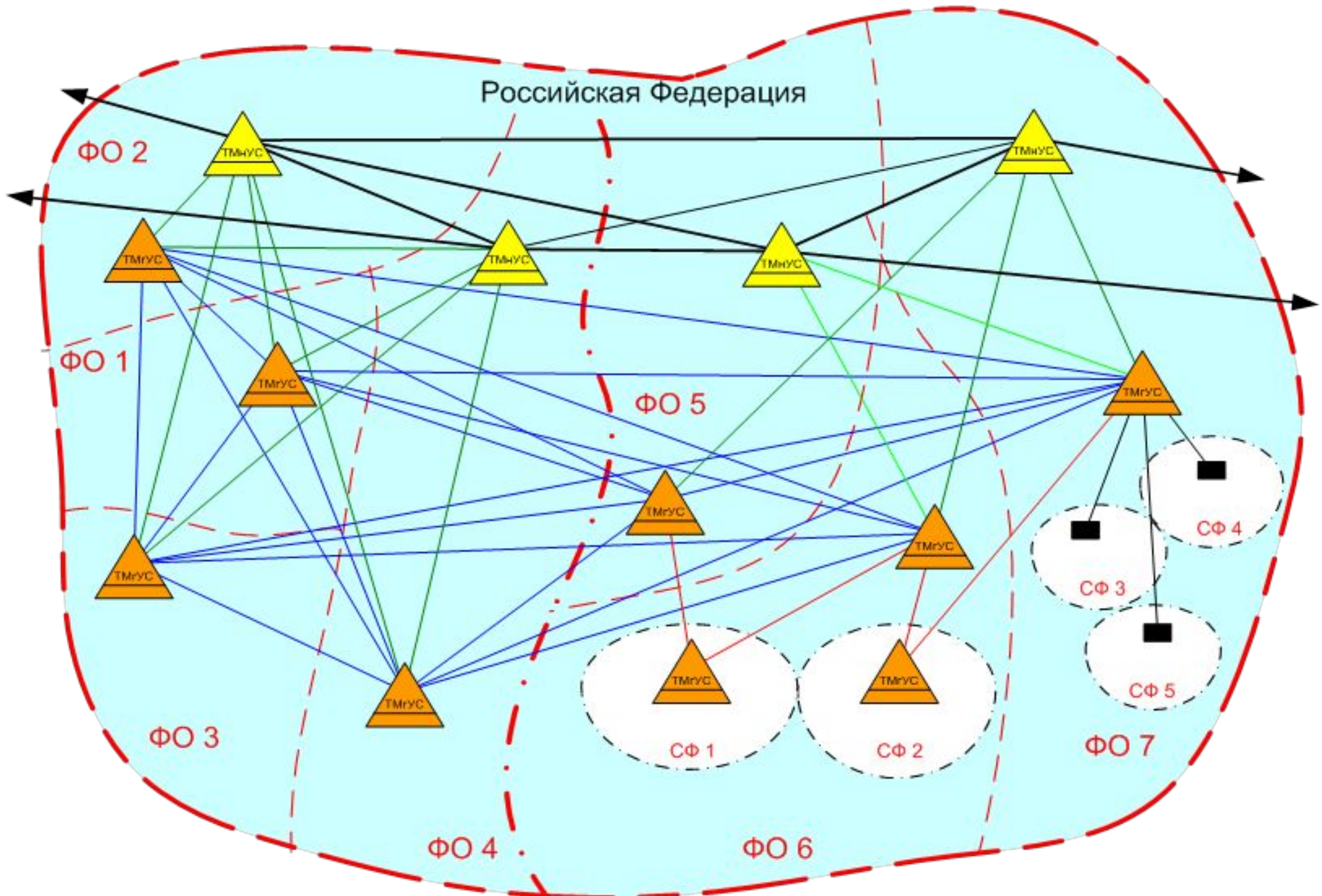


Схема организации
ГТС г. Ростова-на-Дону

Структуры сельских телефонных сетей



Структура междугородной телефонной сети России



Схемы ограничений на число транзитов (10 и 14)

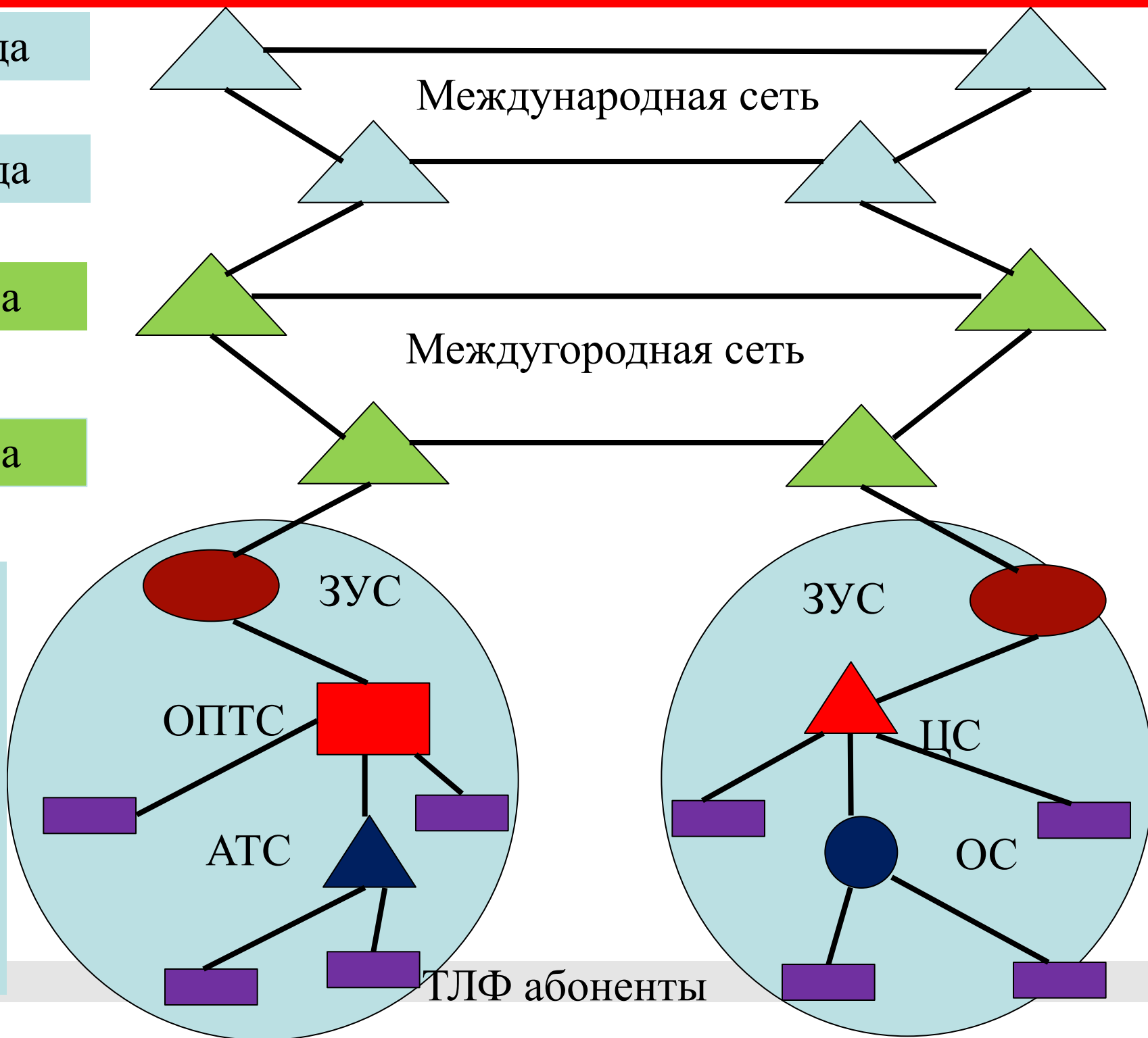
МнУС-1-го рода

МнУС-2-го рода

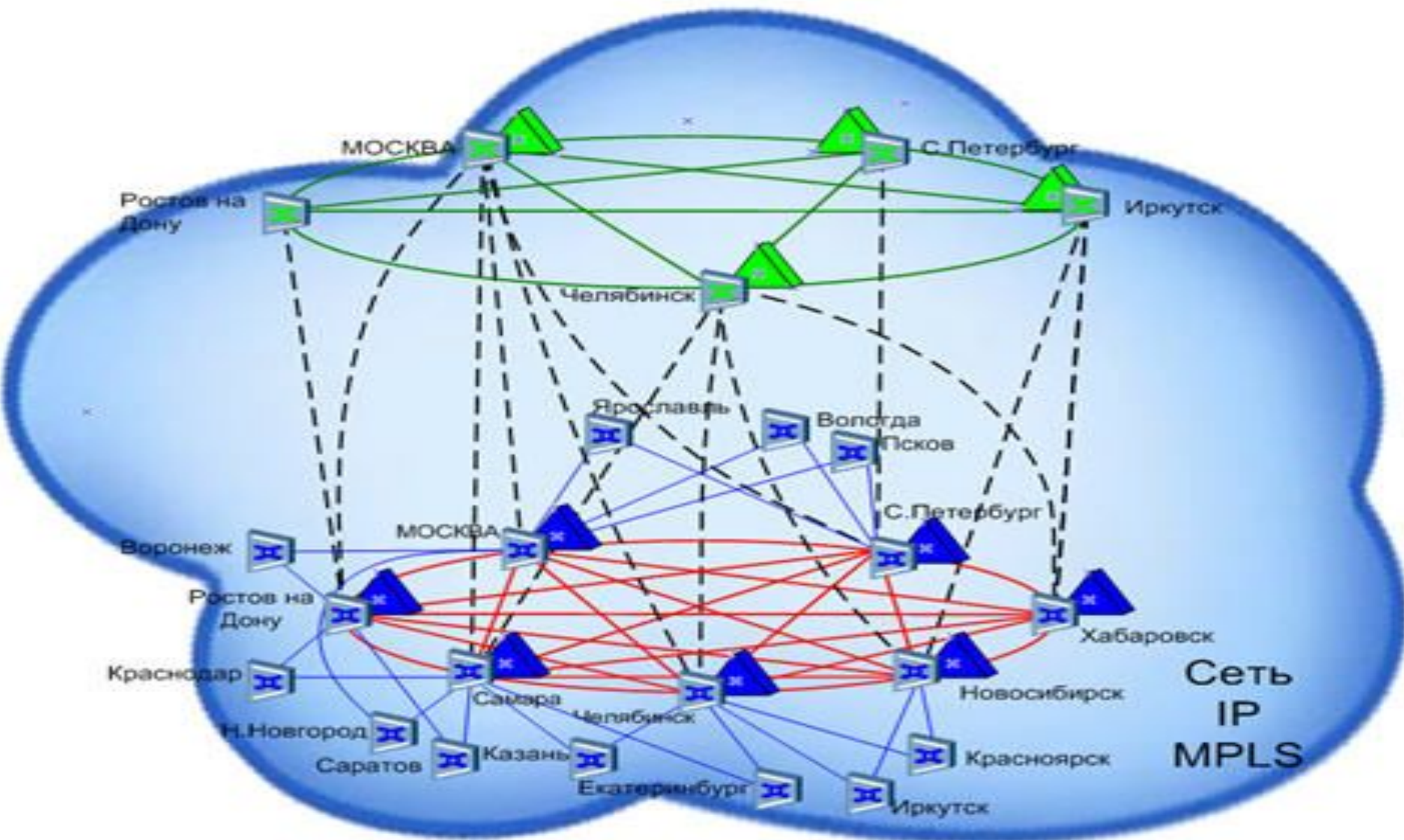
МгУС-1-го рода


МгУС-2-го рода


Зоны
7-и значной
нумерации
(области,
края,
республики)



Межнар и межгор телефонная сеть ТрансТелеКома



 Гибкий коммутатор (Soft Switch) МН сети

 Гибкий коммутатор (Soft Switch) МГ сети

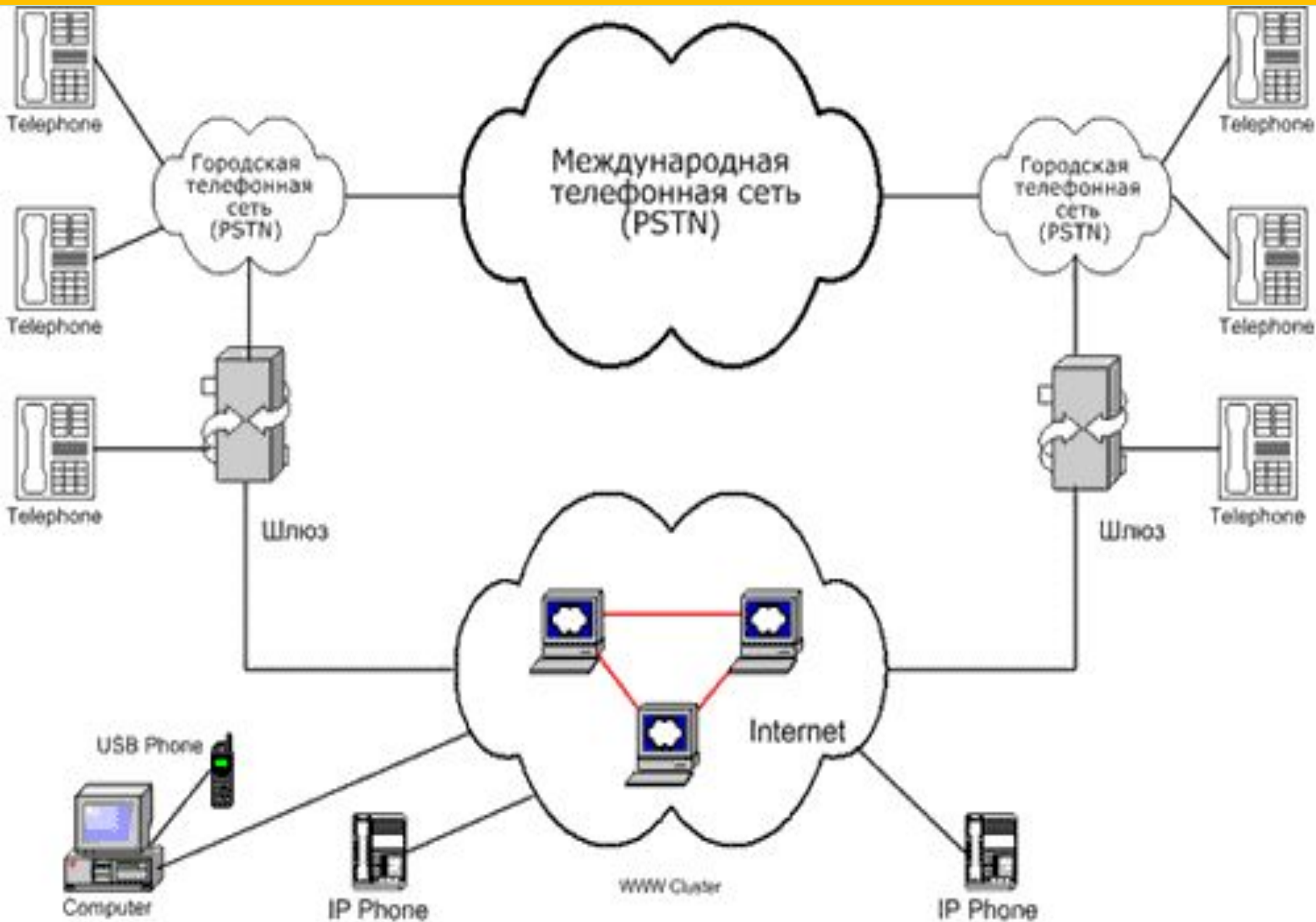


Международный шлюз



Междугородный шлюз

Международная телефонная сеть (PSTN) и Internet



Структура 11-значной телефонной нумерации

α ABC ab xxxxx ← { национальный номер

номер абонента внутри
стотысячной группы

номер стотысячной группы
(ГТС, СТС, УР)

номер зоны семизначной нумерации
(области, края, республики)

Национальный телефонный код (страны)
(Возможные варианты: α , $\alpha\beta$, $\alpha\beta\gamma$) с соответствующим уменьшением национального номера

6. Сетевая модель OSI

*(open systems interconnection
basic reference model —*

базовая эталонная модель

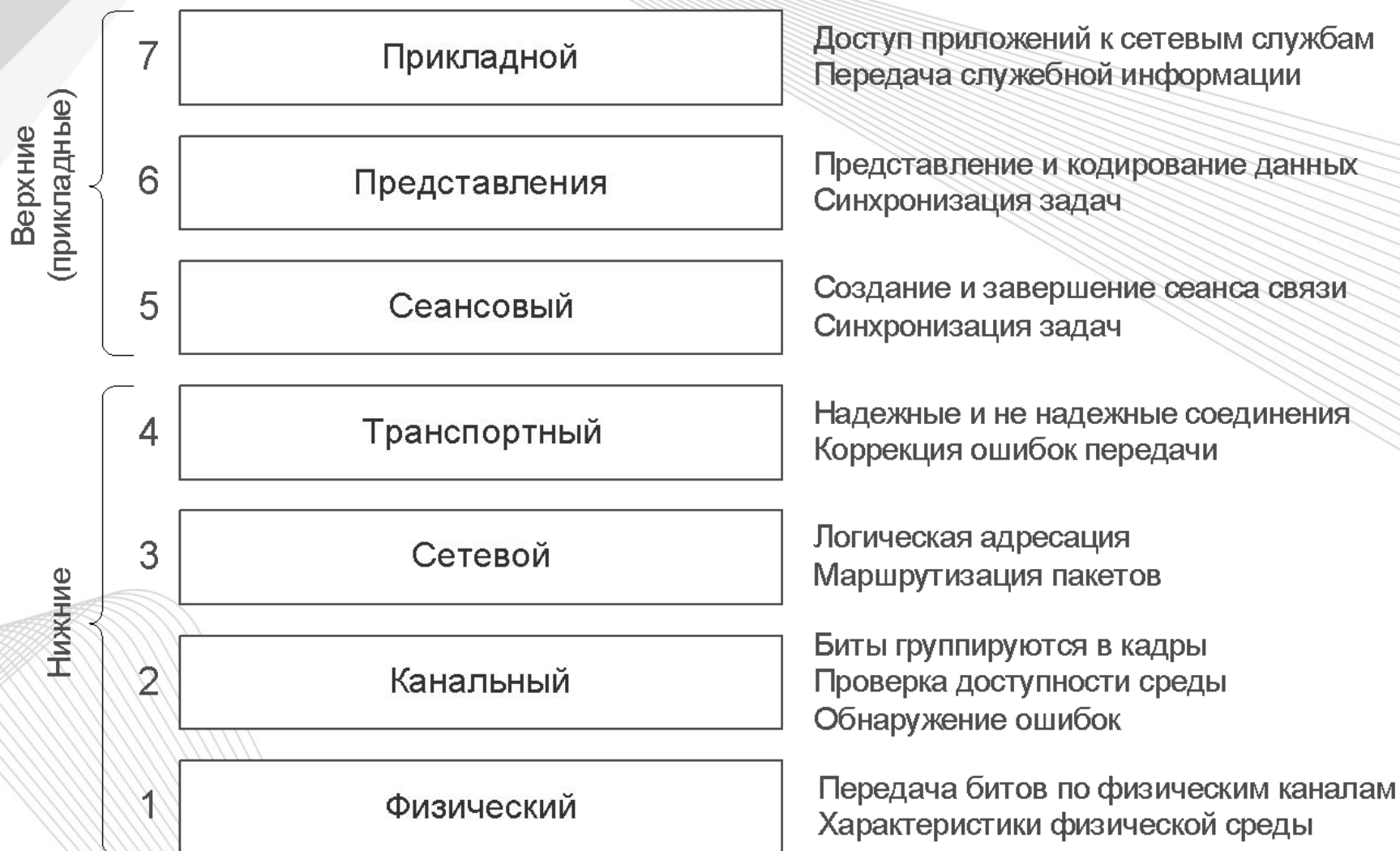
взаимодействия открытых систем,

ЭМВОС

Уровни моделей OSI

| Уровень OSI | Назначение уровня | Примеры протоколов |
|------------------|--|--|
| 7- Прикладной | Обеспечивает прикладным процессам пользователя средства доступа к сетевым ресурсам | X.400, SMTP, FTP, FTAM, SAP, DNS, Telnet и т. д. |
| 6 -Представления | Устанавливает стандартные способы представления данных. Шифрование данных | X.226 |
| 5- Сеансовый | Обеспечивает организацию и поддержание сеанса связи между терминалами | X.225, RPC, NetBEUI и т. д. |
| 4 -Транспортный | Обеспечивает надежную передачу файлов (потока данных) между терминалами | X.224, TCP, UDP, NSP, SPX, SPP, RH и т. д. |
| 3-Сетевой | Обеспечивает маршрутизацию пакетов в сети в дейтаграммном и виртуальном режимах | X.25, X.75, IP, IPX, IDP, TH, DNA-4 и т. д. |
| 2- Канальный | Обеспечивает непосредственную связь объектов сетевого уровня (Уровень звена) | LAP-B, HDLC, SNAP, SDLC, IEEE 802.2 и т.д. |
| 1- Физический | Формирует физическую среду передачи данных и передачу сигналов по этой среде | Ethernet, Arcnet, Token Ring, IEEE 802.3, 5 |

Модель OSI



Модель OSI и TCP/IP стек

Прикладной

Представления

Сеансовый

Транспортный

Сетевой

Канальный

Физический

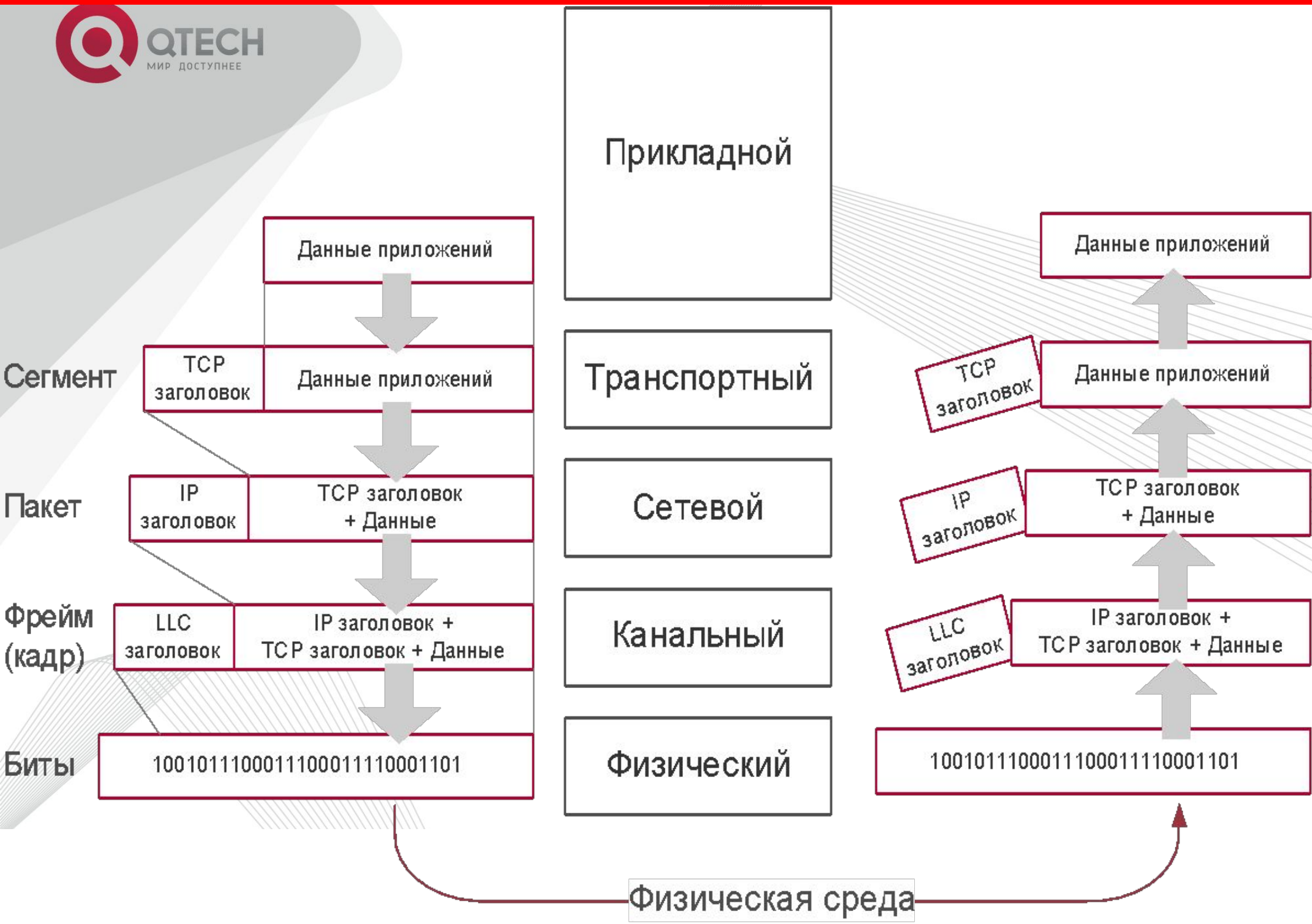
Прикладной
(application)

Меж хостовой
(host-to-host)

Межсетевой
(internetwork)

Сетевого интерфейса
(network interface)

Инкапсуляция и деинкапсуляция данных



3 нижних уровня МВОС/OSI - сегодня

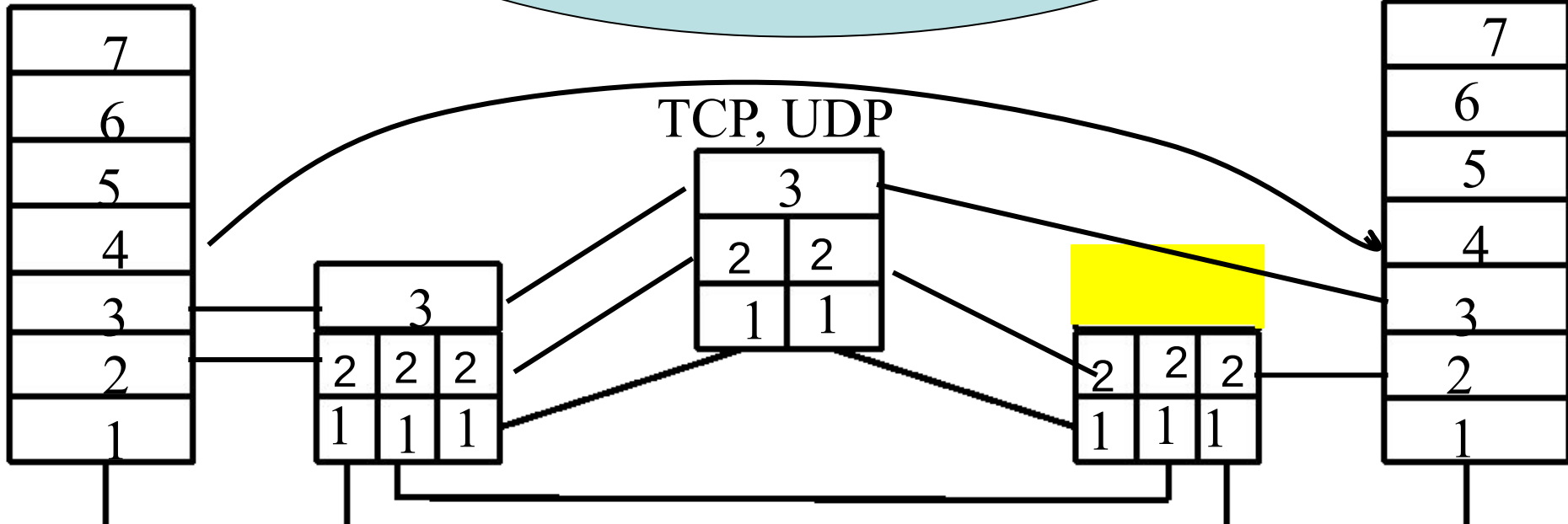
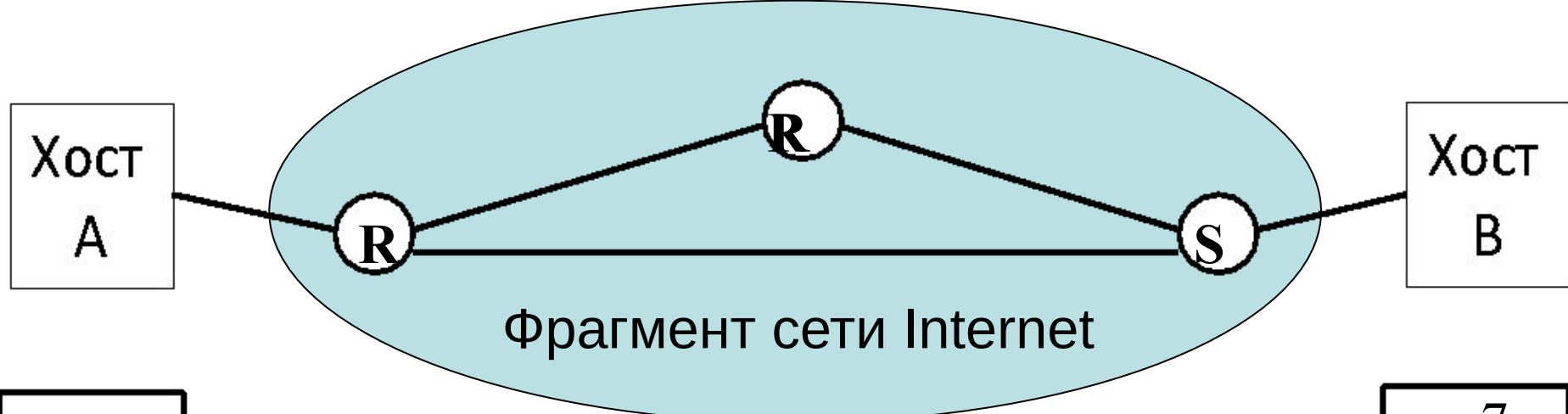
- Уровень 3 – сетевой – IP, Ethernet;**
- Уровень 2,5 – MPLS;**
- Уровень 2 – звено передачи – ATM, FR, Ethernet;**
- Уровень 1,5 – GFP, LCAS, VCAT;**
- Уровень 1 – физический – SDH;**
- Уровень 0 – фотонный – WDM.**

3 нижних уровня – завтра (эра оптических сетей)

- Уровень 3 – сетевой – IP;**
- Уровень 2 – звено передачи – Ethernet (PBB, PBT);**
- Уровень 0 – фотонный – WDM.**

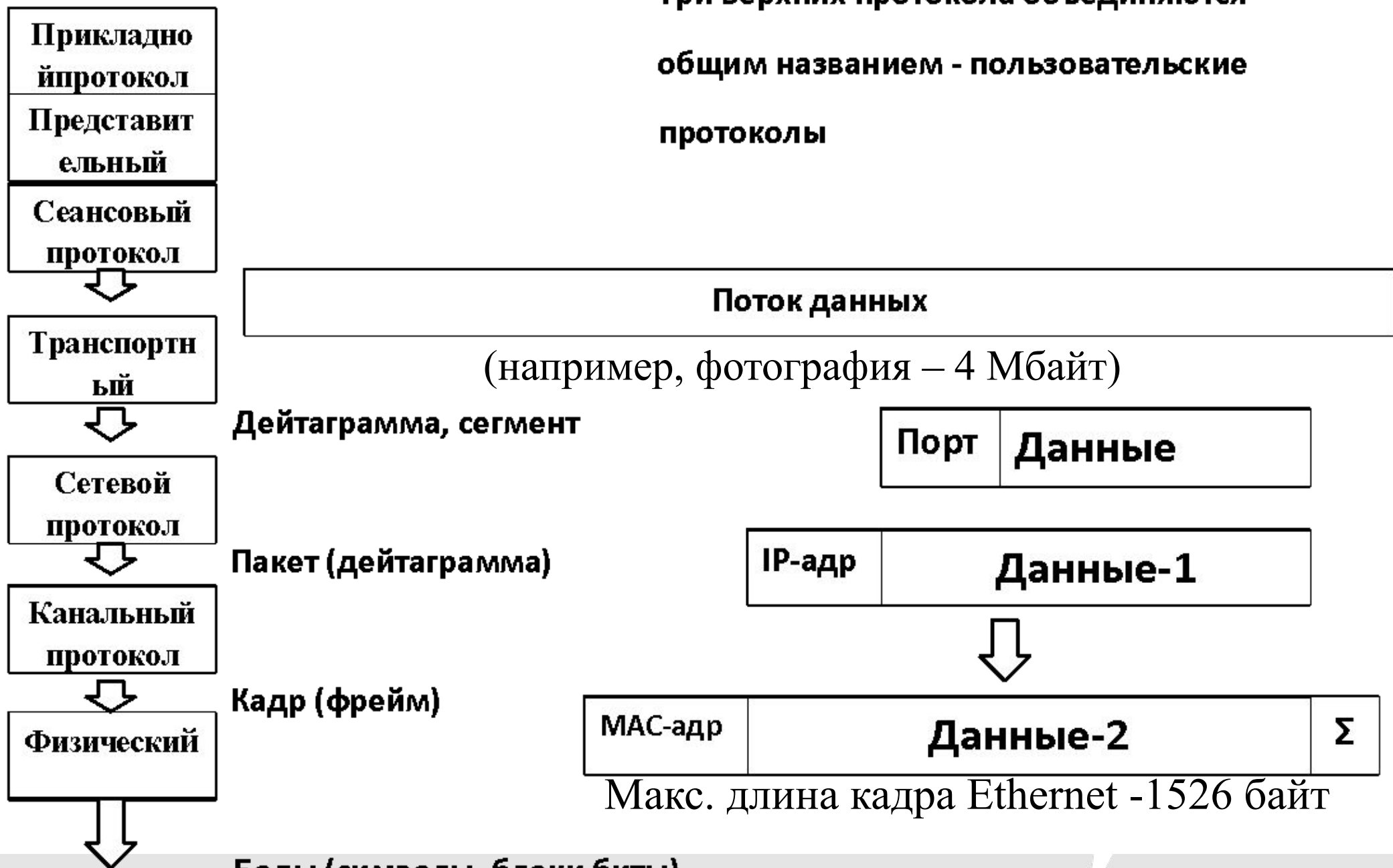
Схема взаимодействия уровней в 3-х узловой транспортной сети

Сеть коммутации пакетов с 2-мя маршрутизаторами и 1-им коммутатором



1-й (физический уровень). 2-й (канальный) уровень
R – router (маршрутизатор). 3-й (сетевой) уровень
логические (протокольные) связи между уровнями

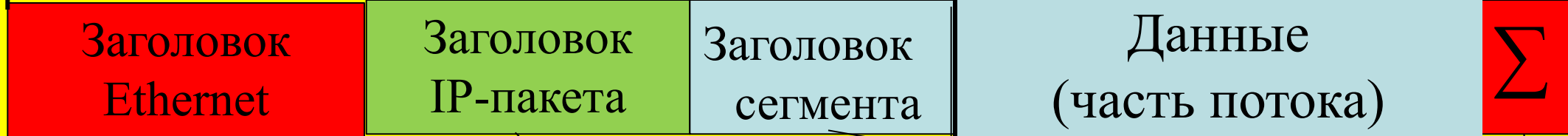
Схема вложения блоков данных по протоколам



Структура кадра Ethernet

Кадр Ethernet (до 1526 байт)

IP-пакет (до 1500 байт)



Номер порта получателя | Номер порта отправителя

2 байта

2 байта

IP-адрес получателя (4 байта), IP-адрес отправителя (4 байта), различные поля и признаки. Всего в заголовке IPv4 – 20 байт

Преамбула (синхрон)
101010.....10101011

(8 байт)

MAC-адрес получателя

(6 байт)

MAC-адрес отправителя

(6 байт)

Признаки

(2 байта)

Всего: 22+1500+4=1526

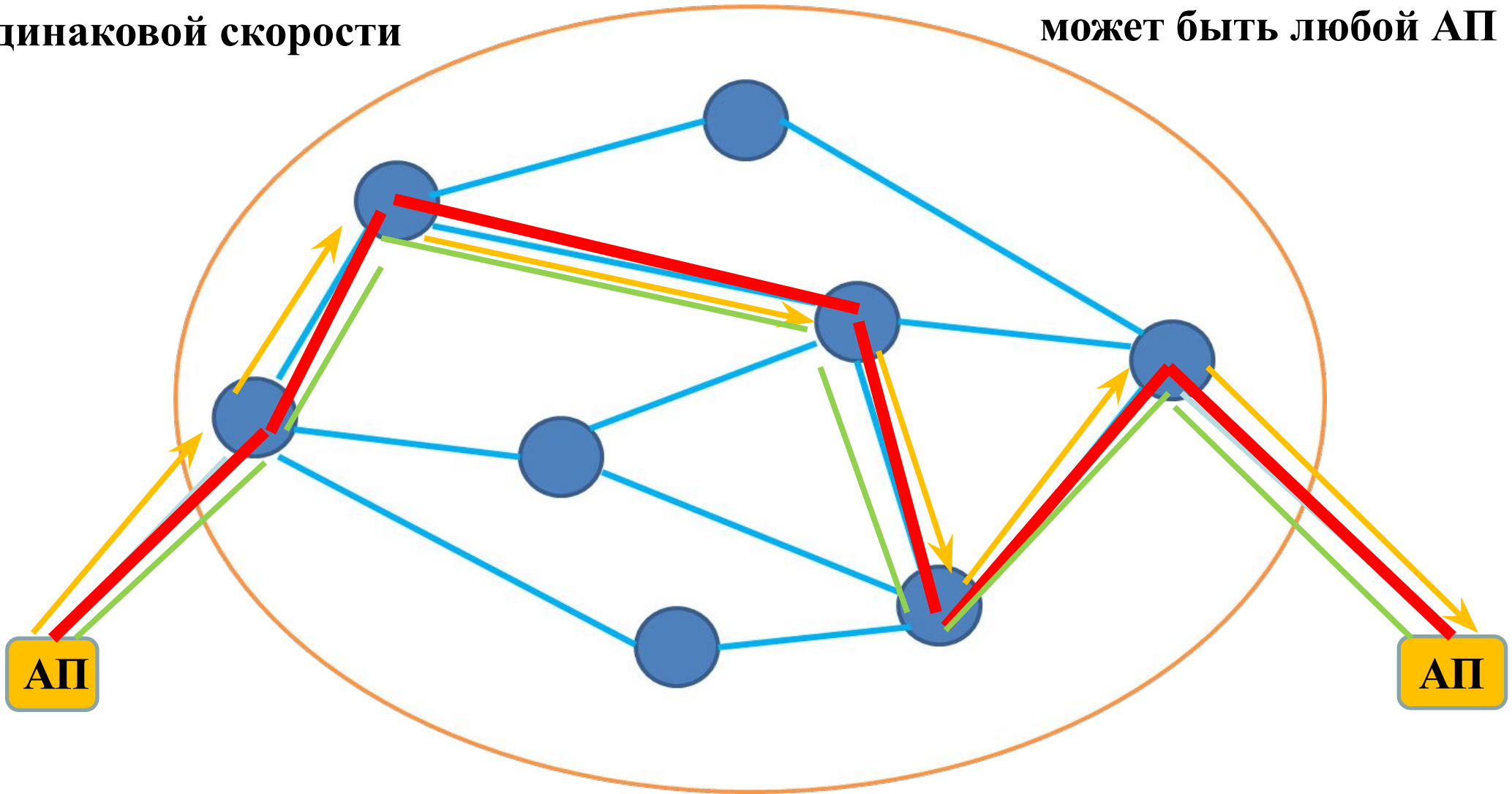
Проверочные разряды кадра (4 байта)

7. Способы коммутации в телекоммуникационных сетях

Способ коммутации каналов

Все каналы в соединении
одинаковой скорости

Инициатором разъединения
может быть любой АП

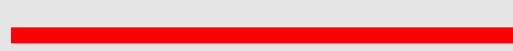


Фазы информационного обмена при коммутации каналов

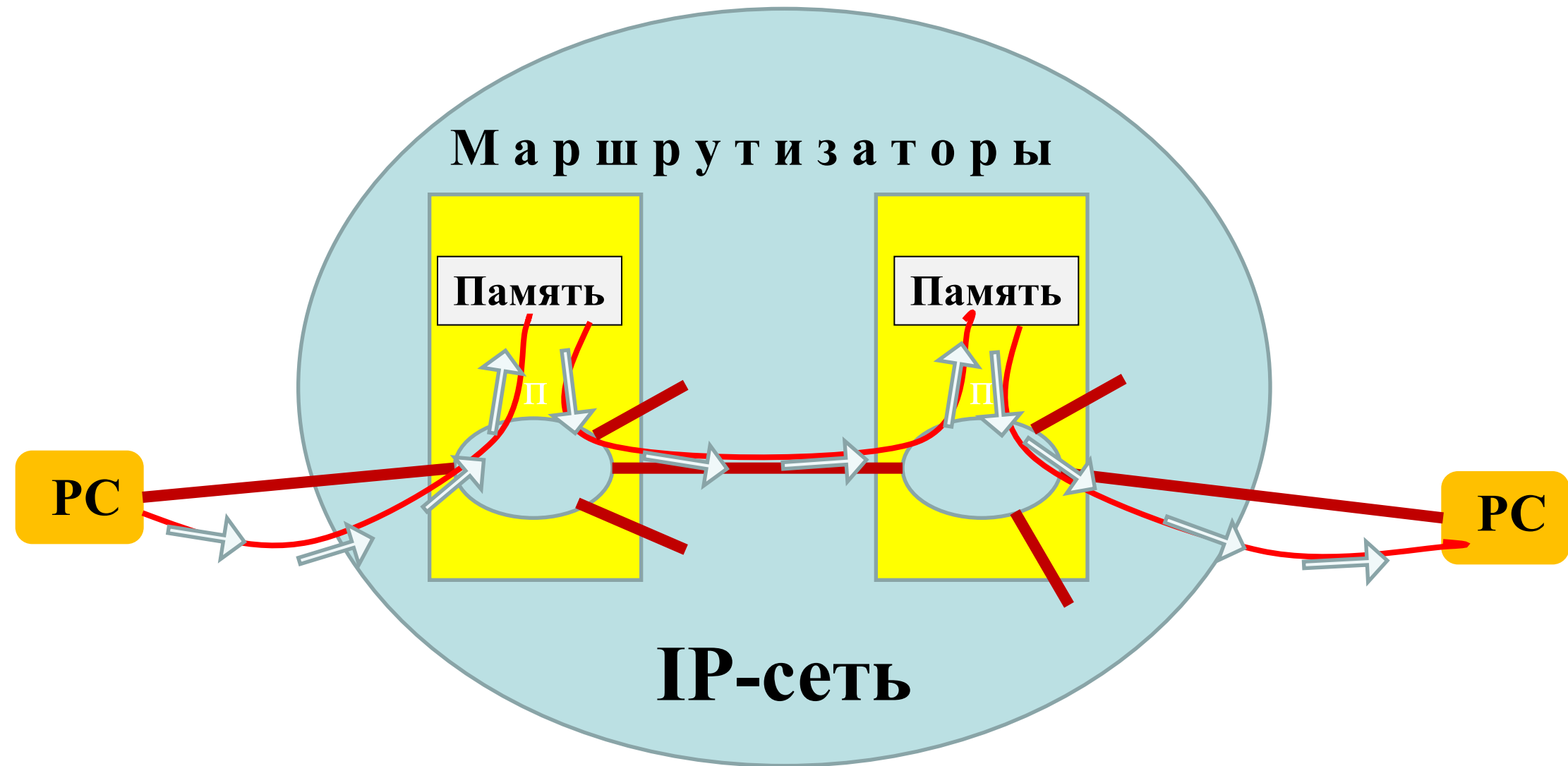
Установление соединения

Информац. обмен

Разъединение



Процесс передачи пакетов по IP-сети



 - Коммутационная часть маршрутизатора

 - Последовательность IP-пакетов

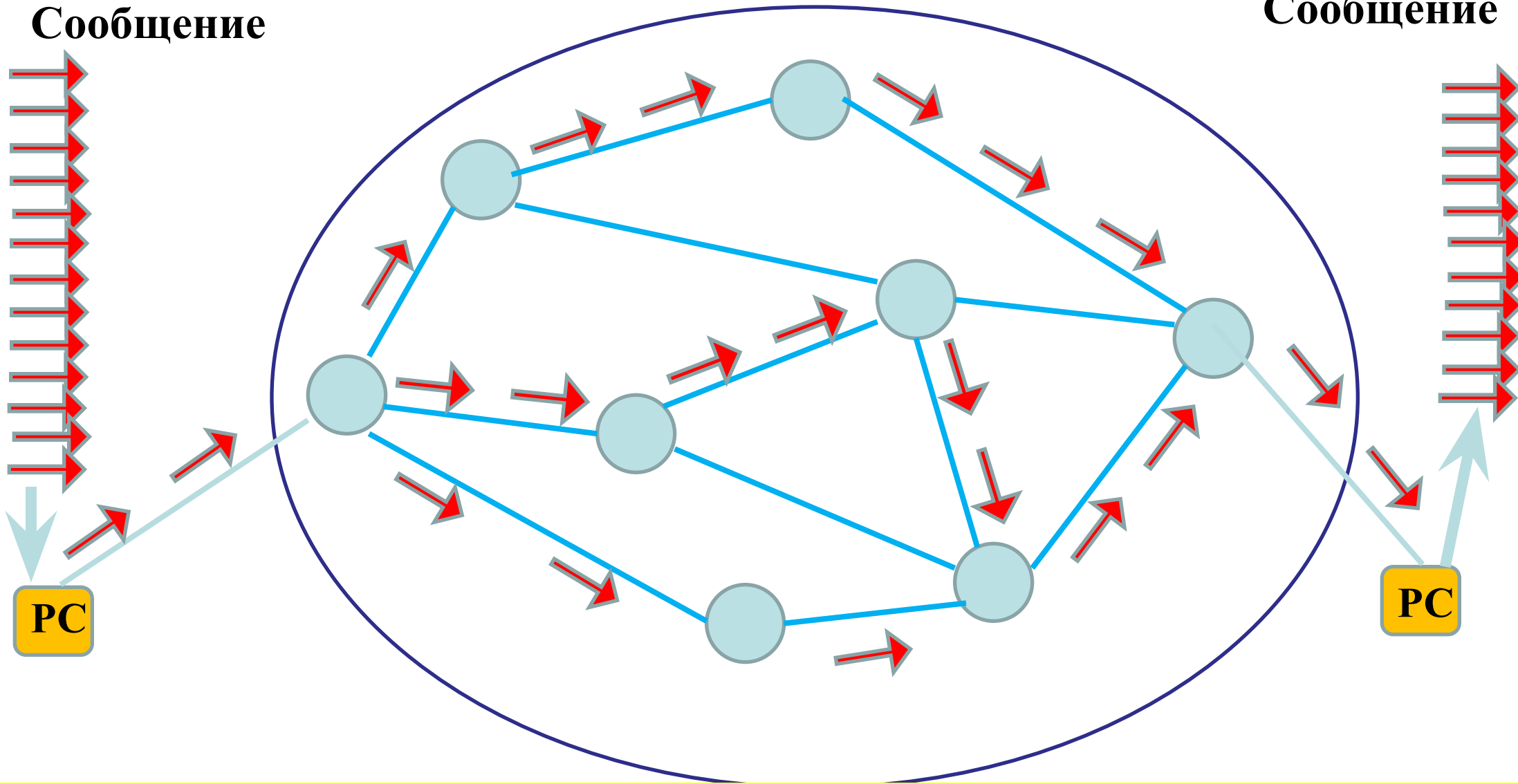
Способ коммутации пакетов. Дейтаграммный режим

Все узлы имеют память для промежуточного хранения пакетов

Каналы в соединении могут иметь различные скорости

Сообщение

Сообщение



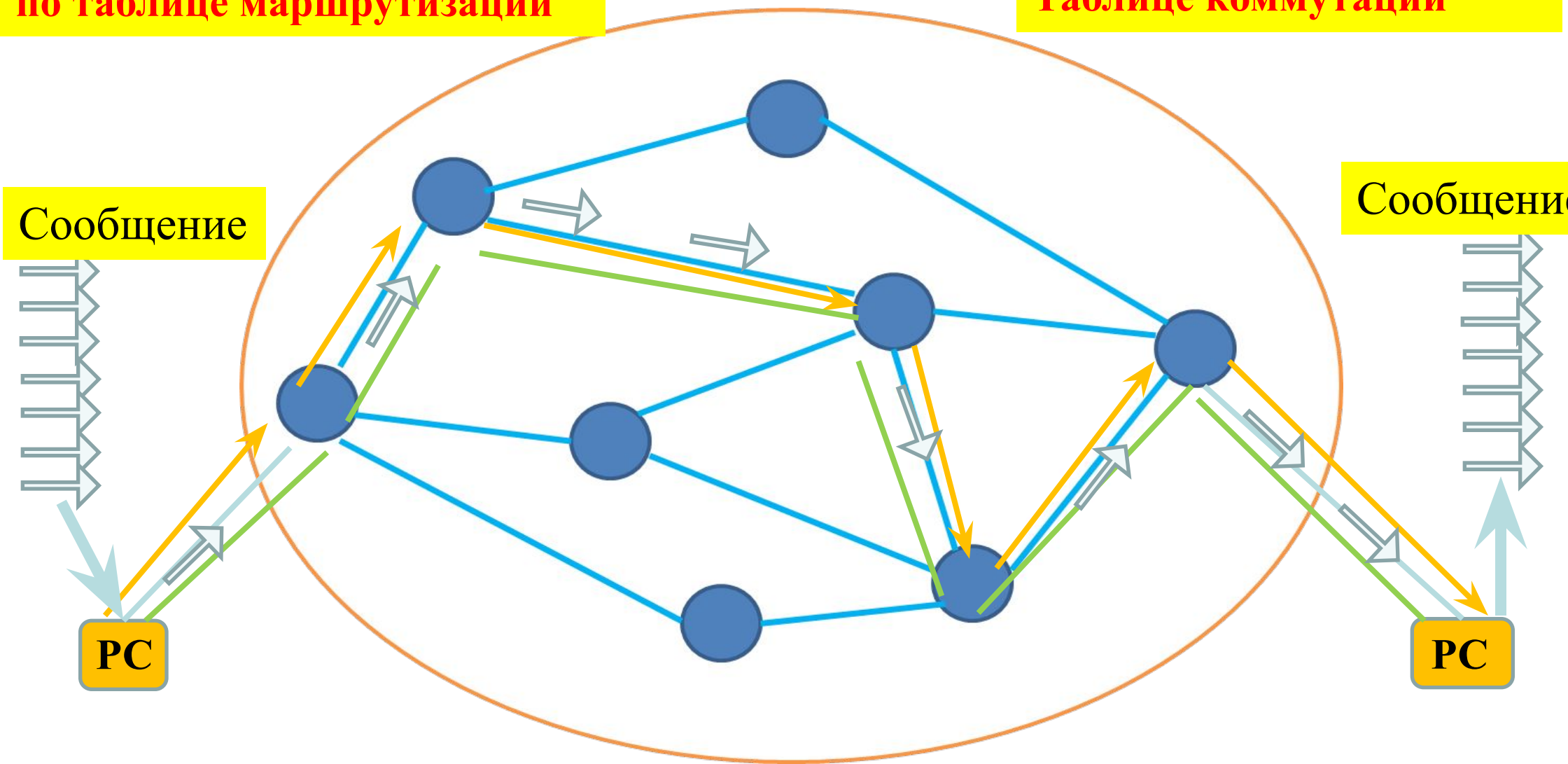
Предварительное установ. соединения на сетевом уровне не производится

→ IP-пакеты с сетевыми адресами PC-отправителя и PC-получателя

Способ коммутации пакетов. Режим виртуального канала

Соединение устанавливается по таблице маршрутизации

Пакеты передаются по Таблице коммутации



Установление соединения

Разъединение



IP-пакеты с идентификаторами пути

Упрощённые структуры таблиц ТМ и ТК

**Таблица
маршрутизации**

| IP-адрес получателя | IP-адрес порта выдачи | |
|---------------------|-----------------------|--|
| 164.172.13.2 | 164.172.13.1 | |
| 80.117.30.4/24 | 144.25.15.2 | |
| 208.45.56.14 | 199.17.37.4 | |
| 208.45.56.17 | 211.55.28.21 | |

**Таблица
коммутации**

| Адрес входного порта маршрутизатора | Входной идентификатор | Адрес выходного порта маршрутизатора | Выходной идентификатор |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------|
| ...172.13.1 | 211 |17.37.4 | 444 |
|25.15.2 | 654 |55.28.21 | 767 |
|17.37.4 | 901 |25.15.2 | 156 |
|55.28.21 | 345 | ...172.13.1 | 878 |

Время задержки пакетов в сети и время доставки пакетов

