

Проектирование устройств и систем телекоммуникаций

Компоненты современных систем связи

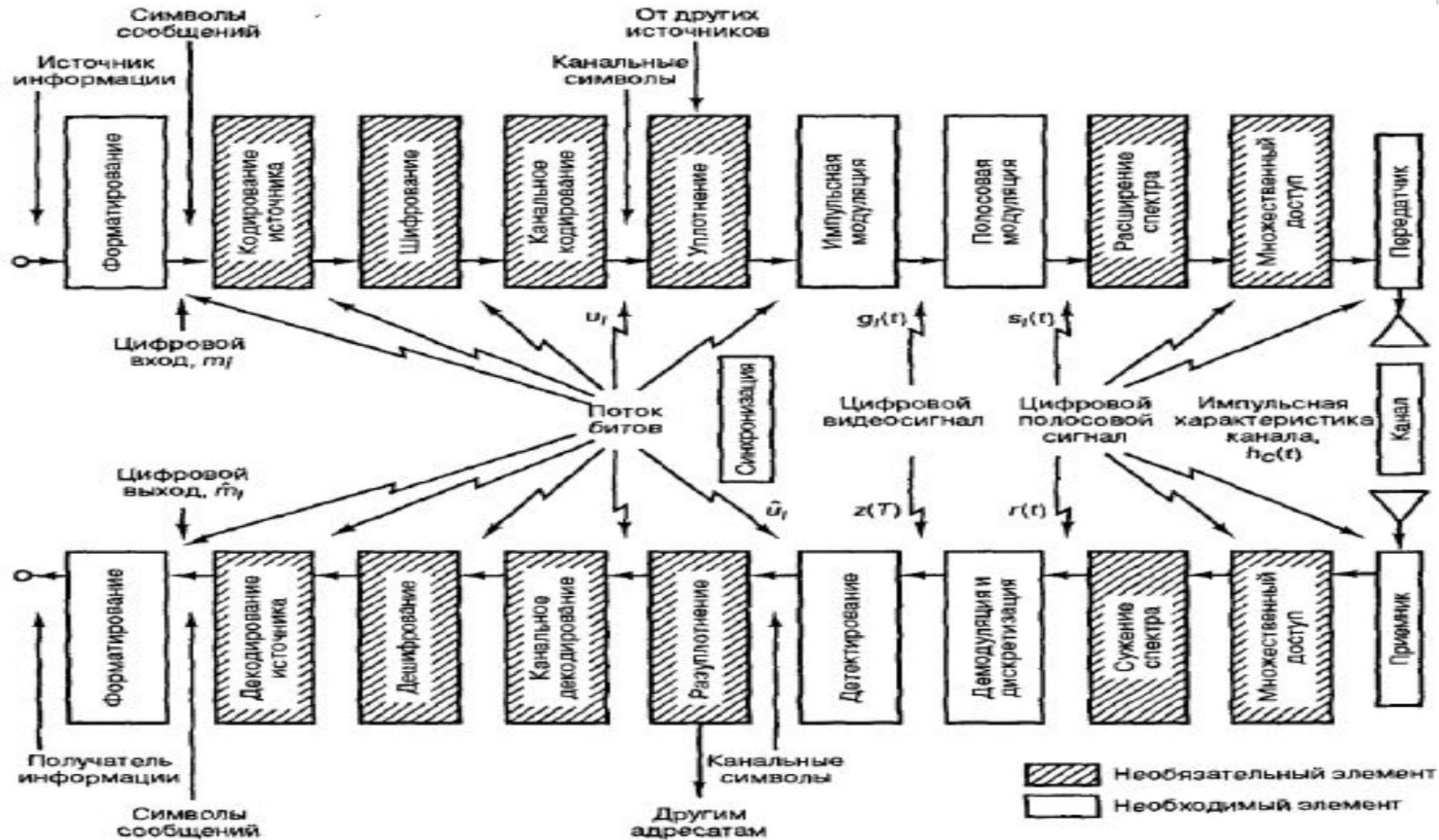


Рис. 1. Структурная схема обобщенной системы связи

Физический смысл компонентов системы связи

- ▶ Форматирование - процесс представления исходной информации в наиболее удобном для дальнейшей обработки виде.
- ▶ Кодирование источника – процесс преобразования исходной последовательности бит в новую последовательность, например, в целях удаления избыточности.
- ▶ Шифрование – процесс закрытия информации от несанкционированного доступа.

Физический смысл компонентов системы связи

- ▶ Процедуры канального кодирования обеспечивают помехоустойчивое кодирование сообщения для обеспечения восстановления информации в случае ошибок; так называемое перемежение символов сообщения (обмен местами символов – например, вначале идут первые символы всех кадров, затем вторые и т.д.), защищающее от пакетных ошибок (ошибок, идущих подряд).
- ▶ Уплотнение – операция комбинирования информационных потоков от нескольких однородных устройств. Другое название данной операции - мультиплексирование.

Физический смысл компонентов системы связи

- ▶ Во всех блоках, в которых происходит работа с цифровыми данными вплотную встает проблема синхронизации работы: как тактовой, т.е., каким образом блоки будут запускаться по входной тактовой частоте; так и кадровой и более высокого уровня – каким образом происходит выравнивание битовых блоков в каждой из структурных единиц схемы. Существует широкий перечень методов и средств синхронизации; проблематика ее осуществления является одной из определяющих в современных системах передачи данных.
- ▶ Для передачи последовательности бит в аналоговой форме используются методы низкочастотной или импульсной модуляции.

Физический смысл компонентов СИСТЕМЫ СВЯЗИ

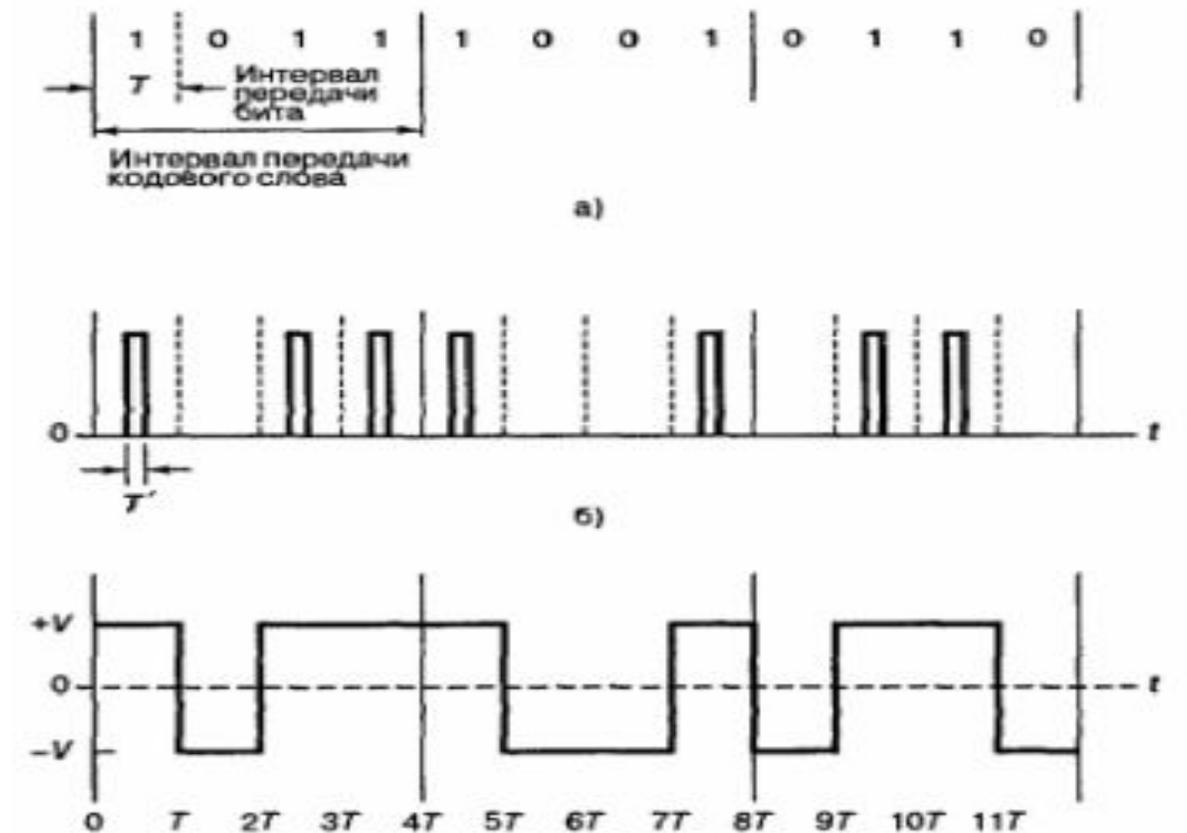


Рис. 2. Пример работы импульсной модуляции

Физический смысл компонентов системы связи

- ▶ Под полосовой модуляцией понимается процесс переноса низкочастотного сигнала $g(t)$ в область высоких частот. Как правило, в качестве переносчика информации используется гармоническое колебание $s(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi)$, основными параметрами которого, доступными для модуляции, являются амплитуда A , частота f_0 и фаза φ . Соответственно, различают амплитудную (АМ), частотную (ЧМ), фазовую (ФМ) и комбинированные методы модуляции (например, КАМ).
- ▶ Расширение спектра – технический прием, увеличивающий полосу радиосигнала в N_{wide} раз.

Физический смысл компонентов системы связи

В зависимости от архитектуры и используемых видов модуляции системы с расширенным спектром могут быть разделены на следующие основные группы:

- ▶ • Системы с прямым расширением спектра на основе ПСП⁹ (т.н. системы DS-CDMA¹⁰).
- ▶ • Системы с перестройкой рабочей частоты (системы с перескоком частоты - с прыгающей частотой).
- ▶ • Системы с перестройкой временного положения сигналов (с прыгающим временем).
- ▶ • Системы со смешанными методами расширения спектра.

Физический смысл компонентов системы связи

Технологии множественного доступа основаны на четырех базовых принципах разделения каналов, а также их комбинациях:

- ▶ • Принцип ПРК (пространственное разделение каналов - SDMA)
- ▶ • Принцип ЧРК (частотное разделение каналов - FDMA)
- ▶ • Принцип ВРК (временное разделение каналов - TDMA)
- ▶ • Принцип КРК (кодированное разделение каналов - CDMA)

Физический смысл компонентов системы связи

В общем случае канал связи представляет собой динамическую систему, которая описывается следующим образом:

$$S_g(t) = S(t) \cdot h(t) + I_{outer}(t) + I_{inner}(t) + n(t),$$

где $S_g(t)$ - сигнал на приемной стороне; $S(t)$ - сигнал на передающей стороне; $h(t)$ - переходная характеристика канала связи; I_{outer} - внешние помехи в канале связи; I_{inner} - внутренние шумы системы; $n(t)$ - совокупность внешних шумов (теплового шума, электро-магнитного фона и пр.).

Модель распространения радиоволн в свободном пространстве

$$P_{rec} = \frac{P_{trans} * K_{trans} * K_{rec} * L * \lambda^2}{16 * \pi^2 * d * \gamma}, \quad (1)$$

где d - расстояние между приемником и передатчиком (м.); $\lambda = c/f$ - длина волны (м.); K_{rec} и K_{trans} – безразмерные величины - коэффициенты усиления приемного и передающего АФУ; P_{rec} и P_{trans} – мощности сигнала на входе приемника и на выходе передатчика, соответственно (Вт); γ – коэффициент условий среды распространения, приведен в следующей таблице; $0 \leq L \leq 1$ – совокупный коэффициент затухания, обусловленный прочими факторами канала связи и среды распространения.

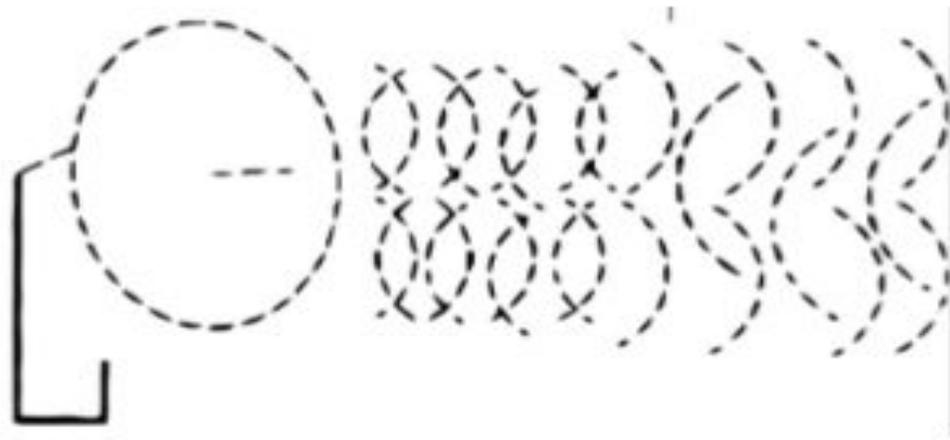
Значения коэффициента γ условий среды распространения

Тип среды	Значение коэффициента γ
Свободное пространство	2
Сотовая радиосвязь в городской местности	2,75...3,5
Затененная сотовая радиосвязь в городской местности	3...5
В здании на линии прямой видимости	1,6...1,8
В здании с препятствиями на линии распространения радиосигнала	4...6
На предприятиях с препятствиями на линии распространения радиосигнала	2...3

Модель распространения радиоволн в свободном пространстве

▶
$$L_{weak} = \frac{P_{rec}(d)}{P_{trans}(d)} = \left(\frac{c}{f}\right)^2 * \frac{1}{2 * \pi^2 * d * \gamma} \approx \left(\frac{3 * 10^8}{10^9}\right)^2 * \frac{0.006}{d * \gamma} \approx 5.7 * 10^{-4} * \frac{1}{d * \gamma}$$

Ближняя зона распространения радиоволн



Ближняя зона распространения радиоволн

$$r < \frac{\lambda}{2 * \pi i}$$

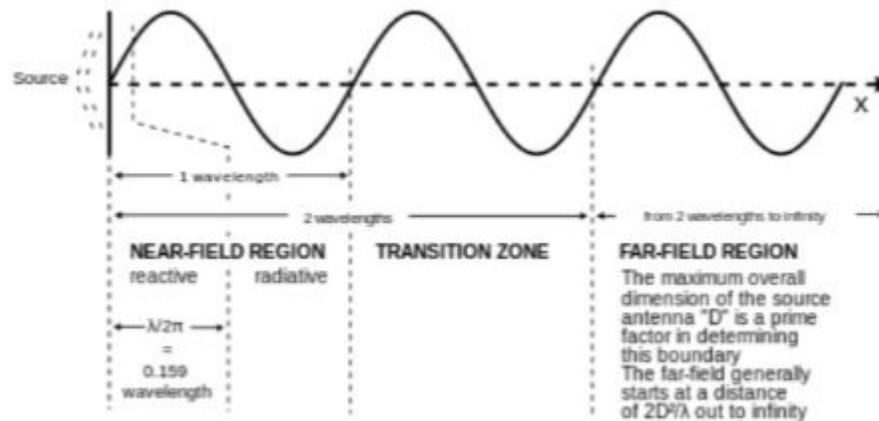


Рис.5. Размеры ближней зоны для антенн с маленькой эффективной длиной

Ближняя зона распространения радиоволн

$$r < 0.62 * \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

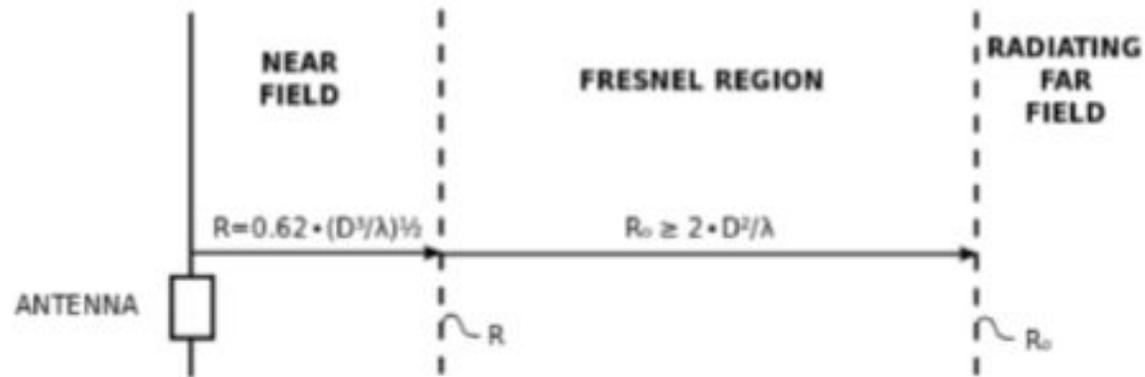


Рис.6. Размеры ближней зоны для антенн с большой эффективной длиной

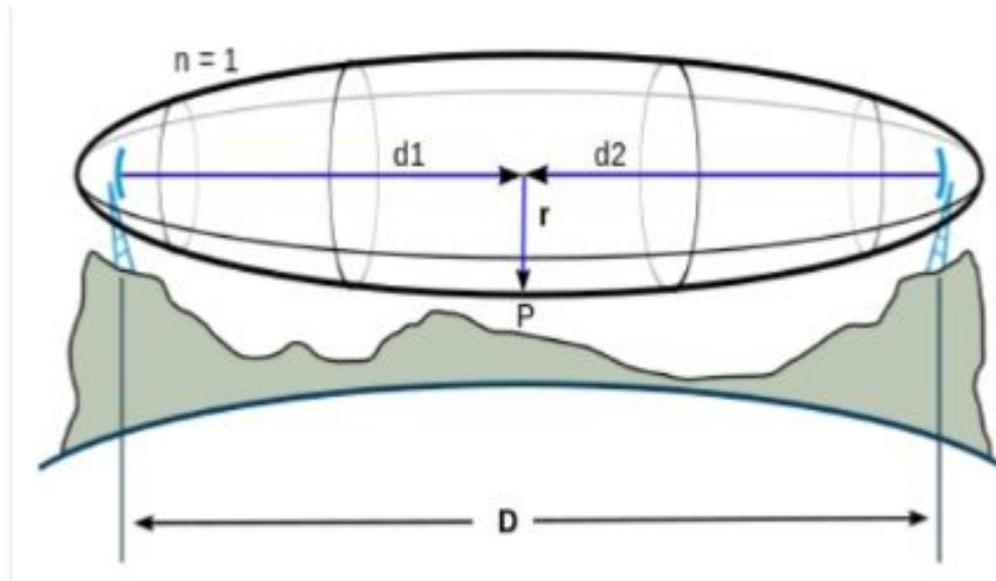
Ближняя зона распространения радиоволн

$$r < \frac{2 * D^2}{\lambda}$$



Рис.7. Сферический фронт ЭМ-волны в дальней зоне распространения

Зоны Френеля как дополнительное условие к LOS



Внешний вид зон Френеля вдоль пути распространения ЭМ-волн

$$F_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}},$$

$$r_{f1} = 8.657 * \sqrt{\frac{D}{f}},$$

Основные механизмы распространения радиоволн в NLOS

(NLOS - non-line of sight - вне зоны прямой видимости)

Существует четыре основных механизма распространения в среде с препятствиями:

1. отражение,
2. дифракция,
3. рассеивание,
4. поглощение.

Основные механизмы распространения радиоволн в NLOS

(NLOS - non-line of sight - вне зоны прямой видимости)

1. Отражение:

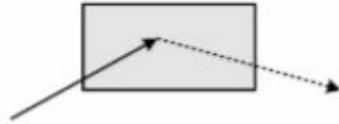


Рис. 9. Отражение радиоволн от объектов на пути распространения

2. Дифракция радиоволн:



Рис. 10. Дифракция радиоволн на краях объектов

Основные механизмы распространения радиоволн в NLOS

(NLOS - non-line of sight - вне зоны прямой видимости)

3. Эффект рассеивания:

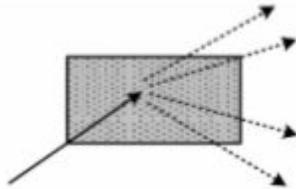


Рис. 11. Эффект электромагнитного рассеивания на иррегулярных структурах

4. Дифракция радиоволн:

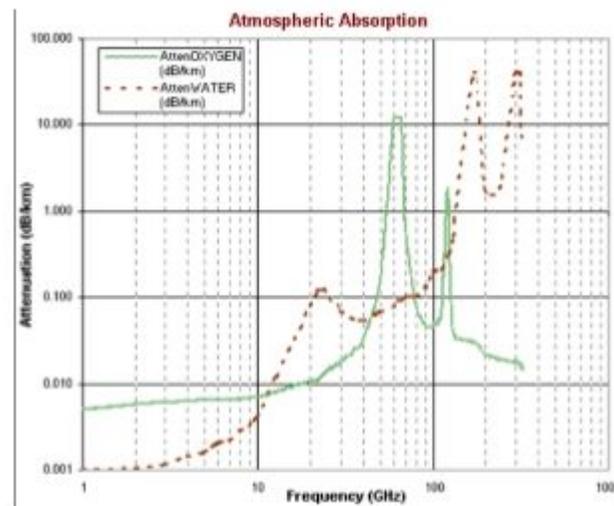


Рис.12. Эффект поглощения радиоволн водной взвесью

Основные механизмы распространения радиоволн в NLOS

(NLOS - non-line of sight - вне зоны прямой видимости)



Рис.13. Классификация типовых моделей распространения радиоволн

Модель Ли

$$P_{rec}(d) = P_0 * \left(\frac{d}{d_0}\right)^{-\gamma} * \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-\eta} * F_0$$

в логарифмическом представлении:

$$P_{rec}(d)_{dB} = P_{0,dB} - \gamma * \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) - \eta * \lg\left(\frac{f}{f_0}\right) + F_{0,dB}; F_0 = \prod_{i=1}^5 F_i$$

где P_0 - эталонная медианная мощность, измеренная на погонном расстоянии $d_0 = 1$ км; F_0 - поправочный коэффициент, вычисляемый на основе компонентных множителей.

Модель Ли

Рассмотрим структуру вычисления данных множителей:

$$F_1 = \frac{h_{BS,eff}^2}{30.48} ; F_2 = \frac{h_{MS}^\mu}{3} ; F_3 = \frac{P_T}{10} ; F_4 = \frac{G_T}{4} ; F_5 = \frac{G_R}{4}$$

где $h_{BS,eff}$ - эффективная высота антенны базовой станции, м.; μ - показатель степени: при высоте антенны абонентской станции менее 3 м принимается $\mu = 1$, при высоте более 10 м - $\mu = 2$; P_T - мощность сигнала, излучаемого передатчиком базовой станции, Вт; G_T , G_R - коэффициенты усиления антенн соответственно базовой и подвижной станции относительно т.н. полуволнового вибратора.

Модель Ли

Параметры P_0 и γ , полученные для различных типов окружающей среды, приведены в следующей таблице:

Тип среды	P_0	γ , дБ на декаду
Свободное пространство	-41	20,0
Сельская местность, редкая застройка	-40	43,5
Пригород, небольшой город	-54	38,4
Филадельфия	-62,5	36,8
Нью-Йорк	-55	43,1
Токио	-78	30,5

Рис. 14. Значения P_0 и γ для различных типов окружающей среды

Модель Ли

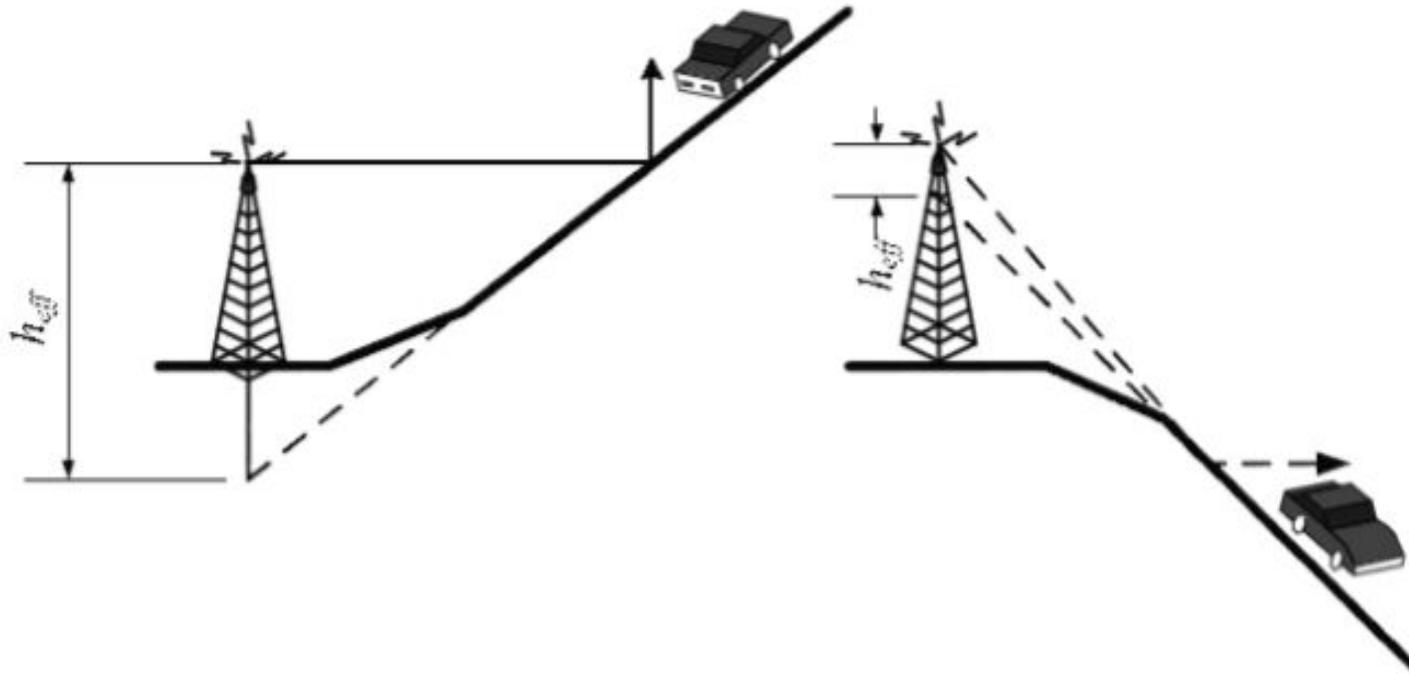


Рис. 15. Определение эфф. высоты базовой станции в холмистой местности

Модель Ли

Несущая частота f_c , МГц - 900

Высота антенны базовой станции $h_{BS, eff}$, (м). - 30

Мощность передаваемого сигнала P_T , (Вт) - 10

Коэффициент усиления антенны базовой станции
относительно полуволнового вибратора G_T , (дБ) - 6

Высота антенны подвижной станции h_{MS} , (м.) - 3

Коэффициент усиления антенны подвижной станции
относительно полуволнового вибратора G_R , (дБ) - 0

Модель Окамуры-Хата

$$L = -K_1 - K_2 \lg f + 13,82 \lg h_{BS} + a(h_{MS}) - (44,9 - 6,55 \lg h_{BS}) \lg(d) - K_0,$$

где L –совокупный коэффициент затухания(дБ) на заданном расстоянии; f –несущая частота(МГц); h_{BS} – высота подвеса антенны базовой станции (м.); h_{MS} - высота подвеса антенны мобильной (абонентской) станции (м.); d - расстояние между передатчиком и приемником (в км). Пределы параметров, для которой данная модель является адекватной:

1 $30 \text{ м} \leq h_{BS} \leq 100 \text{ м}.$

2 $1 \text{ м} \leq h_{MS} \leq 10 \text{ м}.$

3 $1 \text{ км} \leq d \leq 20 \text{ км}.$

Модель Окамуры

$$L = -K_1 - K_2 \lg f + 13,82 \lg h_{BS} + a(h_{MS}) - (44,9 - 6,55 \lg h_{BS}) \lg(d) - K_0,$$

где L –совокупный коэффициент затухания(дБ) на заданном расстоянии; f –несущая частота(МГц); h_{BS} – высота подвеса антенны базовой станции (м.); h_{MS} - высота подвеса антенны мобильной (абонентской) станции (м.); d - расстояние между передатчиком и приемником (в км). Пределы параметров, для которой данная модель является адекватной:

1 $30 \text{ м} \leq h_{BS} \leq 100 \text{ м}.$

2 $1 \text{ м} \leq h_{MS} \leq 10 \text{ м}.$

3 $1 \text{ км} \leq d \leq 20 \text{ км}.$

Модель Окамуры

$$a(h_{MS}) = \begin{cases} ([1,1\lg(f) - 0,7]h_{MS} - [1,56\lg(f) - 0,8]) & \text{для городской застройки} \\ 3,2[\lg(11,75 h_{MS})]^2 - 4,97 & \text{для плотной городской застройки;} \end{cases}$$

$K_0 = 0$ дБ для городской и $K_0 = 3$ дБ для плотной городской застройки;

при $150 \text{ МГц} \leq f \leq 1000 \text{ МГц}$ $K_1 = 69,55$; $K_2 = 26,16$ дБ;

при $1500 \text{ МГц} \leq f \leq 2000 \text{ МГц}$ $K_1 = 46,3$; $K_2 = 33,9$ дБ.

Модель Окамуры-Хата

$$L_{город} = [69,55 + 16 \lg(f) - 13,83 \lg(h_{BC}) - \alpha(h_{AC}) - [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \cdot \lg(R)]$$

f

R

h_{BC}

h_{AC}

$\alpha(h_{AC})$

Для небольших и средних городов

$$\alpha(h_{AC}) = -[0,7 - 1,1 \cdot \lg(f)] \cdot h_{AC} - 1,56 \cdot \lg(f) + 0,8$$

$$\alpha(h_{AC}) = -[0,7 - 1,1 \cdot \lg(f)] \cdot h_{AC} - 1,56 \cdot \lg(f) + 0,8 = 2,55 - 4,6 + 0,8 = -1,25$$

$$L_{пригород} = L_{город} - 2(\lg(f / 28))^2 - 5.4$$

$$L_{село} = L_{город} - 4,78(\lg(f))^2 - 18.33 \lg(f) - 40.98$$

Суммарные энергетические потери

$$L_{\Sigma} = P_{\text{ПРД}} + \eta_{\text{ФПР}} + G_{\text{АПРД}} + \xi_{\text{П}} + G_{\text{АПРД}} + \eta_{\text{ФПР}} + \xi_{\text{С}} - P_{\text{ПДМ}}$$

где $P_{\text{ПРД}}$ – мощность передатчика (30 дБ);

$P_{\text{ПРМ}}$ – мощность радиосигнала на входе приемника (определяется чувствительностью приемника), (-96 дБ);

$\eta_{\text{ФПРД}}, \eta_{\text{ФПРМ}}$ – КПД передающего и приемного фидеров, т.к. передатчик и антенна выполнены в одном корпусе, фидер отсутствует;

$G_{\text{АПРД}}, G_{\text{АПРМ}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн ($G_{\text{АПРД}}=13$ дБ, $G_{\text{АПРМ}}=15$ дБ)

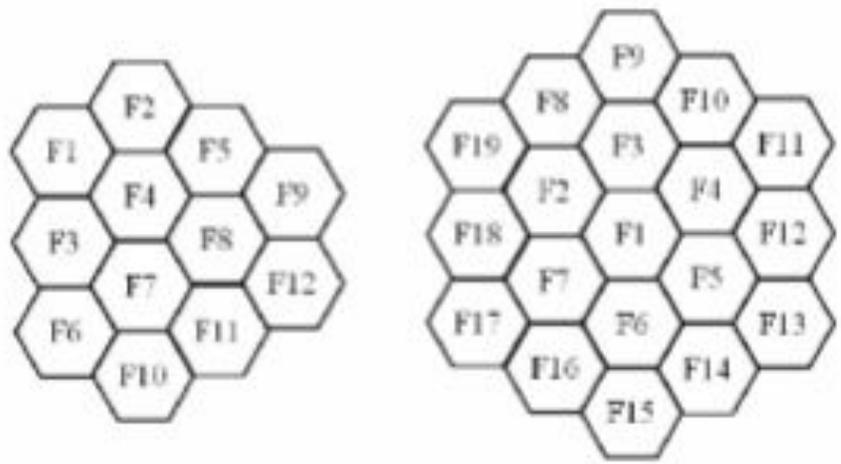
$\xi_{\text{П}}, \xi_{\text{С}}$ – коэффициенты согласования антенн с радиосигналом по поляризации, не учитывается т.к. антенны БС и ТС расположены в одной поляризации, коэффициенты равны 1 (0 дБ);

L_{Σ} – суммарное затухание радиоволн на трассе.

Примеры кластеров размерностей 3,4,7,12,19



а) б) в)



г) д)

Размерность кластеров

$$\Delta = r\sqrt{3N} \quad Q = \frac{\Delta}{r} = \sqrt{3N}$$

где r - радиус ячейки; Q - т.н. коэффициент уменьшения соканальных (или внутрисистемных) помех.

Количество сот в кластере	3	4	7	12	19
Коэффициент уменьшения соканальных помех	3,00	3,46	4,58	6,00	7,55

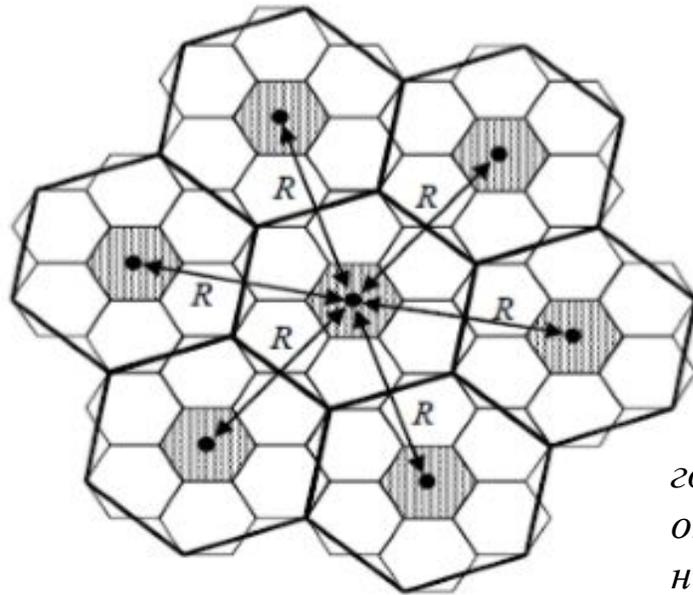
Рис. 19. Коэффициенты уменьшения соканальных помех

$$(q - 1)^\gamma \leq SNR_{ISI}$$

где γ - коэффициент многолучевого распространения; SNR_{ISI} - минимальное соотношение сигнал-шум между полезным сигналом и соканальными помехами

Определение площади зоны покрытия

$$S_r = \frac{3}{2} \sqrt{3} r^2$$



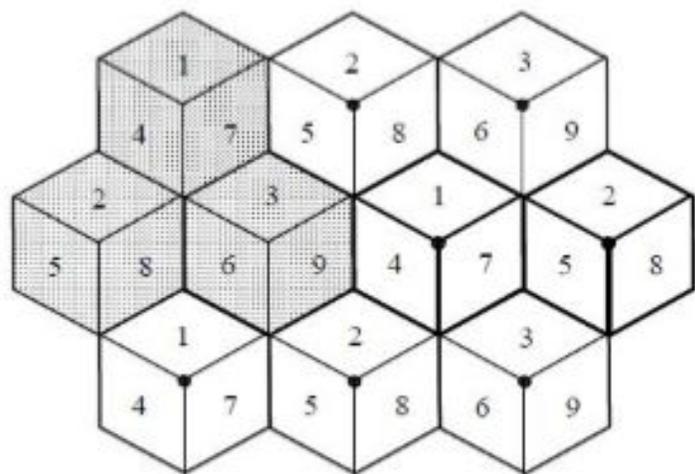
$$S_{\text{кластер}} = \frac{3R^2}{2\sqrt{3}}$$

$$R = \sqrt{3} r \sqrt{i^2 + ij + j^2}$$

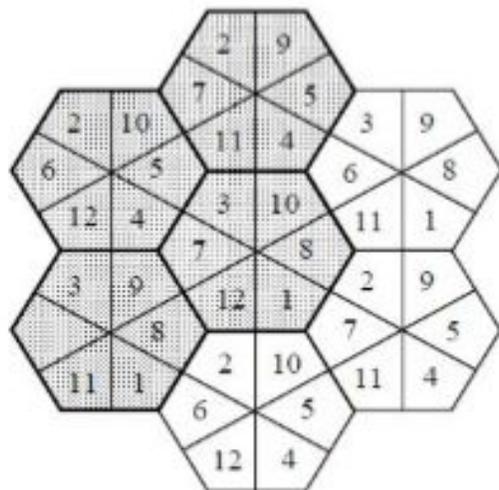
где i и j - координаты центра рассматриваемого шестиугольника, описывающего кластер (выражены в количестве сот от левого нижнего края).

Рис. 20. Аппроксимация кластеров большими шестиугольниками

Варианты секторного покрытия в ЧТП

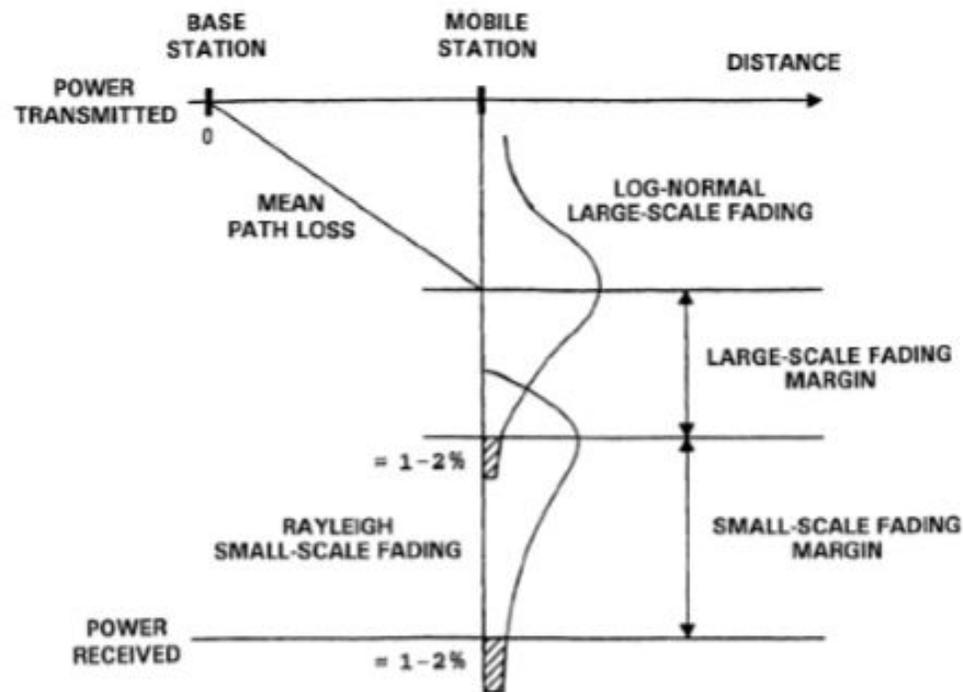


a)



б)

Взаимоотношения типов замираний и моделей распространения



Логонормальная модель затуханий

$$\omega(U) = \frac{4.343}{U\sigma_U\sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(10\lg U - \overline{10\lg U})^2}{2\sigma_U^2} \right],$$

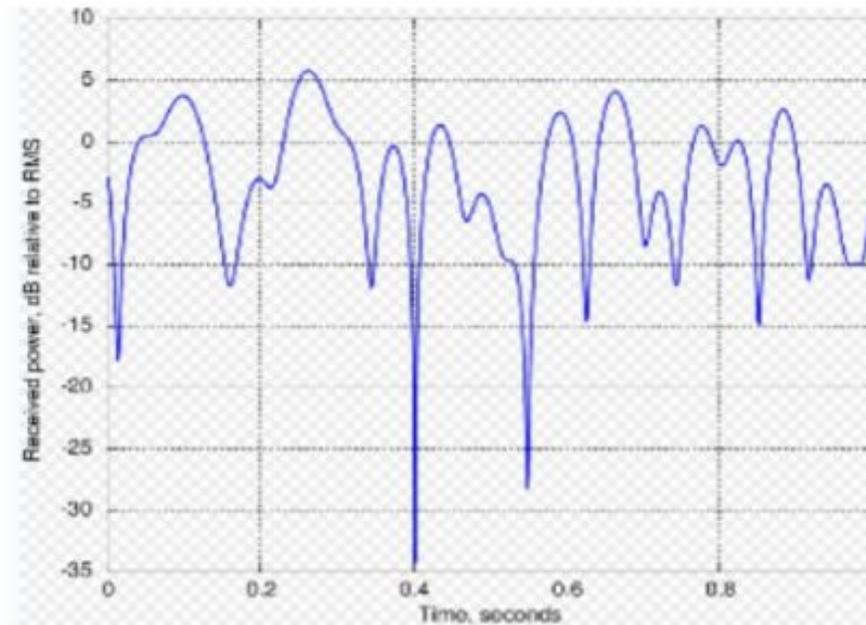
где U - уровень мощности сигнала на приемной стороне, Вт, σ_U - СКО величины $10\lg U$, $\overline{10\lg U}$ - ее мат. ожидание.

Зная распределение в логарифмическом масштабе, особенно СКО σ (для случайной величины $10\lg U$ $\sigma = 0.5 \dots 3.5$ dB; $m = -1 \dots -10$ dB), можно рассчитать вероятность того, что уровень принимаемого в заданной точке сигнала превышает определенный порог.

Рэлеевская модель затуханий

$$\omega_{rayleigh}(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right),$$

где σ - СКО значения мощности принятого сигнала (для большинства случаев принимается равным 5.57 дБ). На следующем рисунке показан пример огибающей сигнала в реальном канале связи на промежутке времени в 1 с.



Райсовая модель затуханий

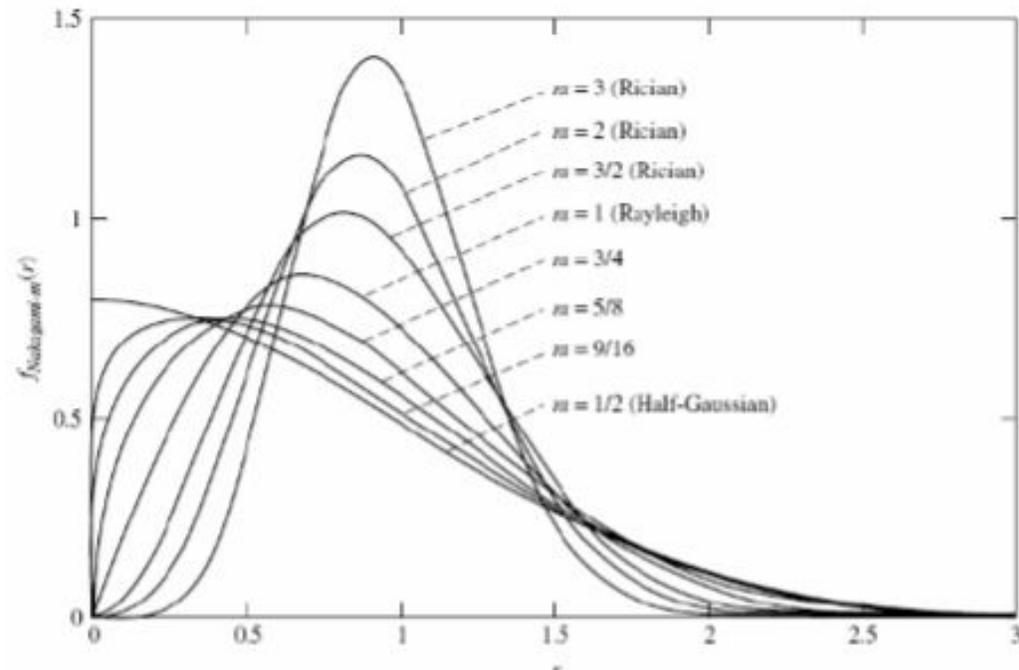
$$\omega_{rician}(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{\left(-\frac{r^2+A^2}{2\sigma^2}\right)} I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right),$$

где A - пиковое значение огибающей доминирующей компоненты сигнала;
 I_0 - модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Модели замирания Накагами- m

$$\omega_{Nakagami-m}(r) = \frac{2r^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} e^{-\frac{r^2}{\Omega}},$$

где $\Gamma(m)$ - гамма-функция; $\Omega = \frac{\overline{r^2}}{m}$, $\overline{r^2}$ - средняя принятая мощность сигнала.



Прочие эффекты распространения

формула:

$$\omega = \omega_0 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c} \cdot \cos(\theta)},$$

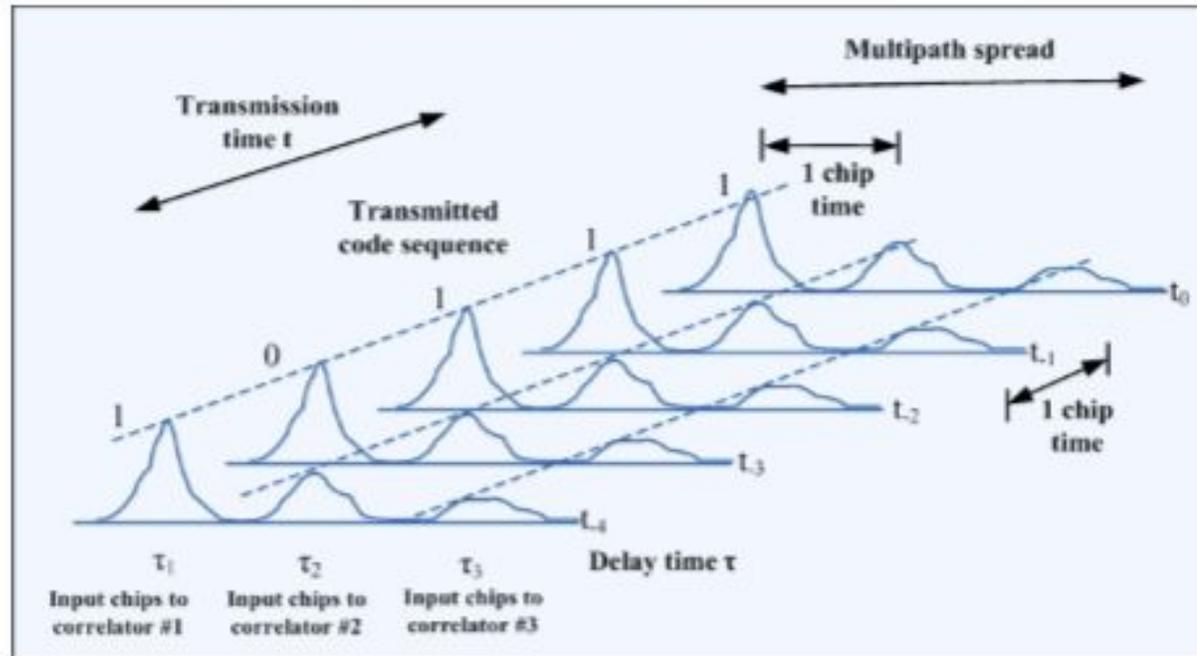
где c - скорость света, v - относительная скорость приемника относительно источника; θ - угол между направлением на источник и вектором скорости в системе отсчета приемника. Если источник радиально удаляется от наблюдателя, то $\theta = 0$, если приближается - $\theta = \pi$.

Для достаточно высоких частот Доплеровское изменение частоты вычисляется по упрощенной формуле:

$$f_d = \frac{v_{vehicle}}{\lambda}.$$

Согласно данной формуле для частоты сигнала в 2,4 ГГц (длина волны - 0,125 м.) и скорости транспортного средства, движущегося со скоростью в 100 км\ч (28 м\с) Доплеровский сдвиг будет равен $\frac{28}{0.125} = 224$ Гц.

Многолучевое распространение



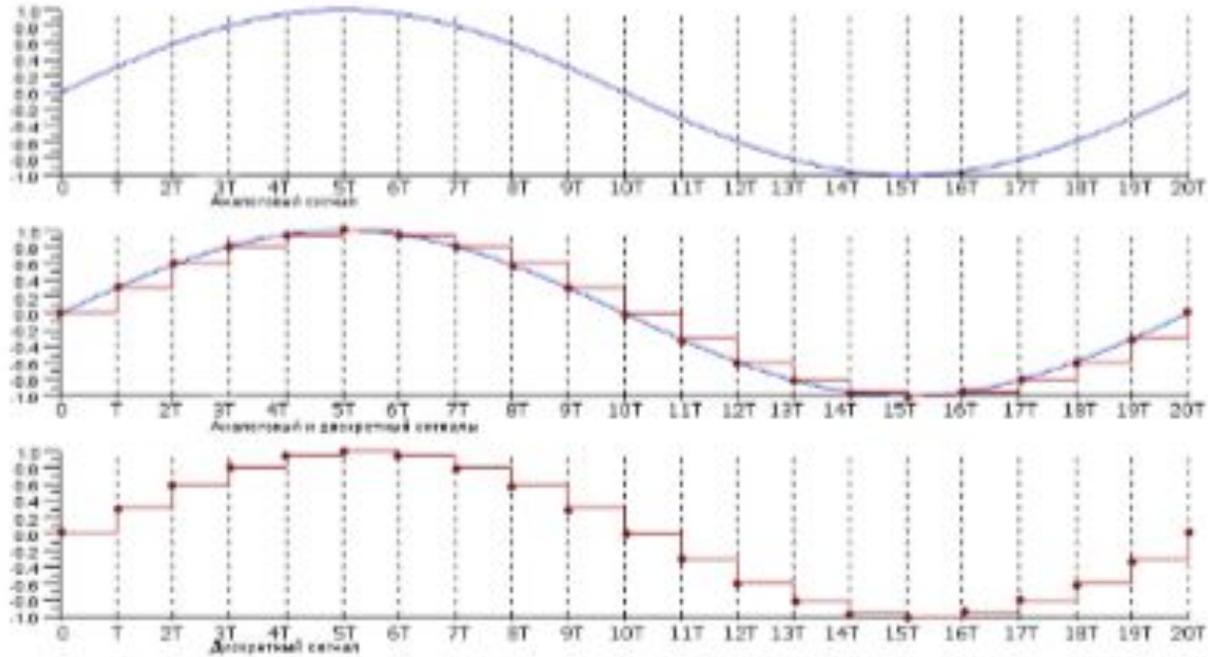
Сигналы и их представление



Использование шкалы частот

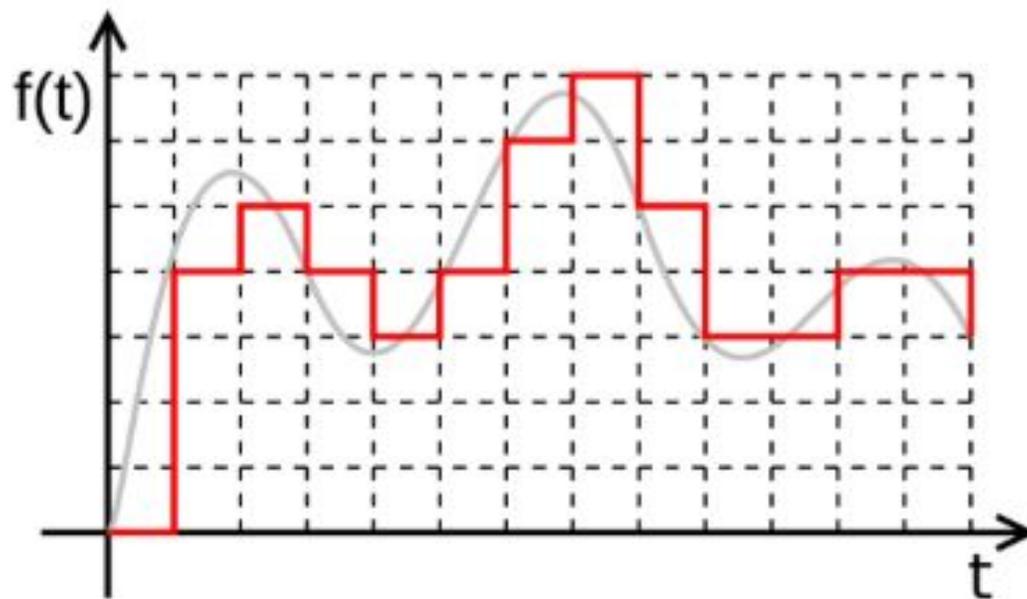
Вид радиоволн	Диапазон радиоволн	Номер диапазона	Диапазон частот	Вид радиочастот	Примеры использования
Мириаметровые (сверхдлинные)	10...100 км	4	3-30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)	Дальняя навигация, связь с подводными лодками
Километровые (длинные)	1...10 км	5	30-300 кГц	Низкие (НЧ)	Радиовещание, навигационные системы, маяки
Гектометровые (средние)	100...1000 м	6	300-3000 кГц	Средние (СЧ)	Морские радиостанции, радиоканалы, сигналы бедствия, радиовещание
Декаметровые (короткие)	10..100 м	7	3-30 МГц	Высокие (ВЧ)	Радиовещание, связь, телеграфия, телефония
Метровые	1...10 м	8	30-300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	Радиовещание, телевидение, наземная подвижная связь, управление воздушным движением, такси, навигационные средства, радиолокация, радиоастрономия
Дециметровые	10...100 см	9	300-3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)	Телевизионные, навигационные системы, спутниковая связь, радиовысотомеры, радиорелейная связь
Сантиметровые	1..10 см	10	3-30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)	Радиолокация, радиоастрономия, радиорелейная, спутниковая связь
Миллиметровые	1...10 мм	11	30-300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ)	
Децимиллиметровые	0,1 – 1 мм	12	300-3000 ГГц	Гипервысокие (ГВЧ)	Космическая связь

Дискретизация непрерывного сигнала



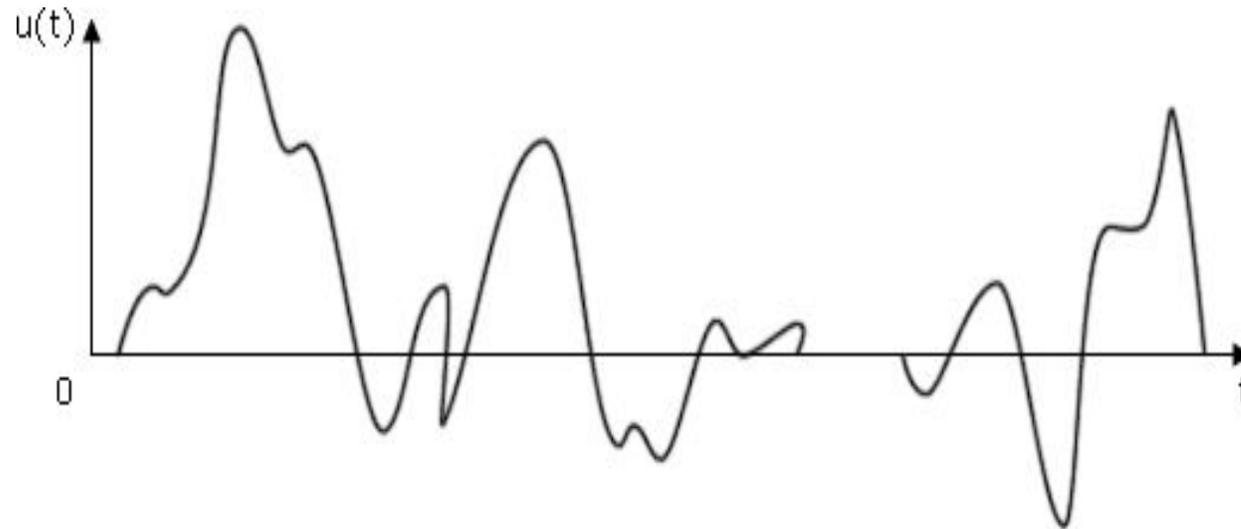
Процесс дискретизации непрерывного сигнала

Квантование сигнала



Представление аналогового сигнала в цифровой форме

Временное и спектральное представление сигналов



Ряд Фурье

$$U(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [U_{mk} * \sin(k * \omega_1 * t + \varphi_k)] \quad k = 1, 2, \dots, \infty$$

где

U_0 – постоянная составляющая, В;

U_{mk} – амплитуды гармоник, В;

ω_1 – частота первой гармоники, рад/с;

φ_k – начальная фаза k -й гармоники.

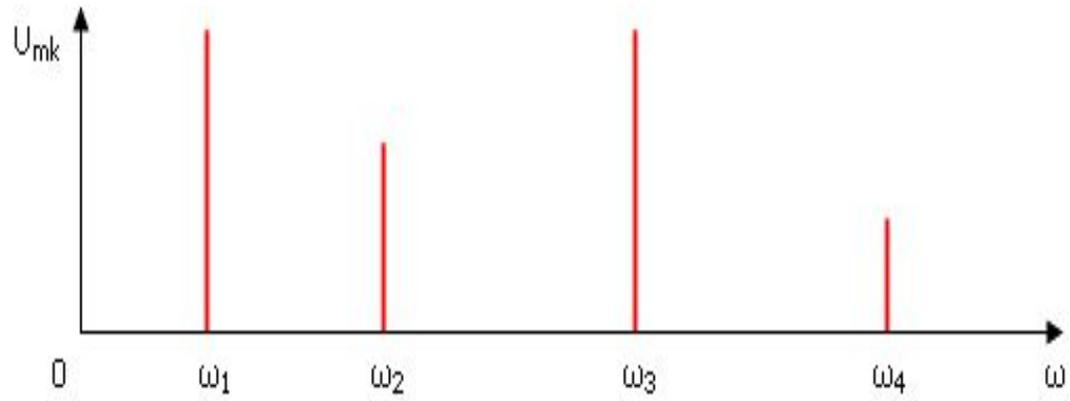


График спектра амплитуд

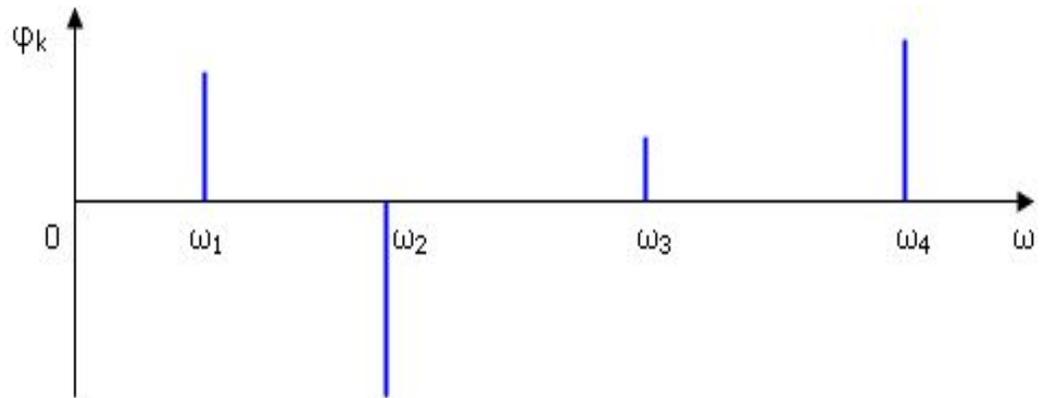
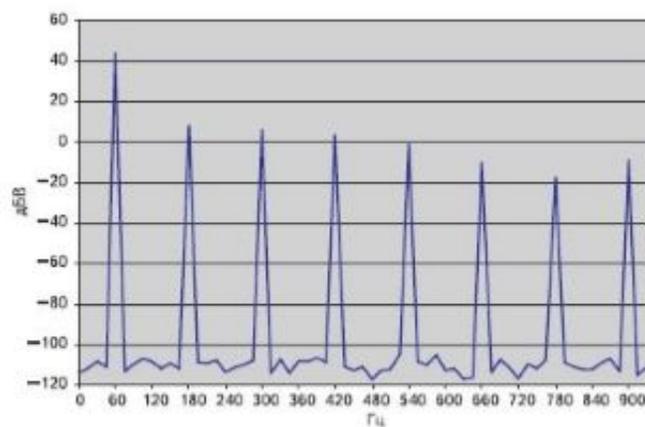
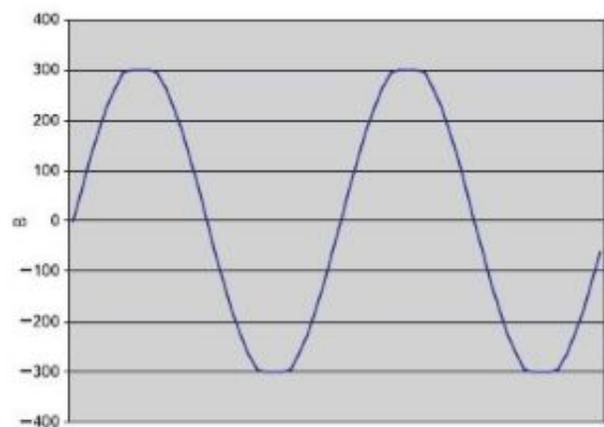


График спектра фаз

Типичный сигнал и его спектр



Теорема Котельникова

$$f_s \geq 2 \cdot F_{max}; \Delta t < \frac{1}{2 \cdot F_{max}}$$

$$\sum u(k \cdot \Delta t) \frac{\sin(\pi f_s(t - k\Delta t))}{\pi f_s(t - k\Delta t)}.$$

Периодические сигналы и их спектры

Математическая модель сигнала:

$$U(t) = U_m * \cos(\omega_0 * t + \varphi_0)$$

Параметрами гармонического сигнала являются:

U_m – амплитуда, В;

ω_0 – угловая частота, рад/с;

φ_0 – начальная фаза, рад.

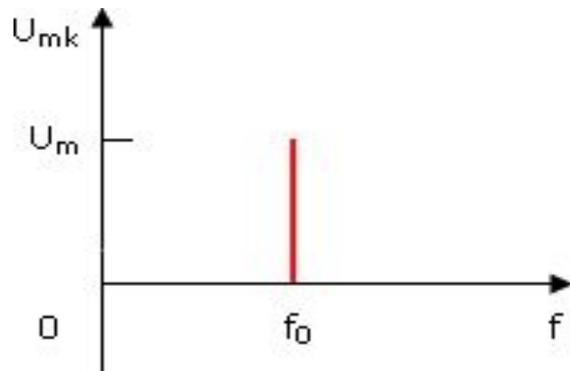


График спектра амплитуд

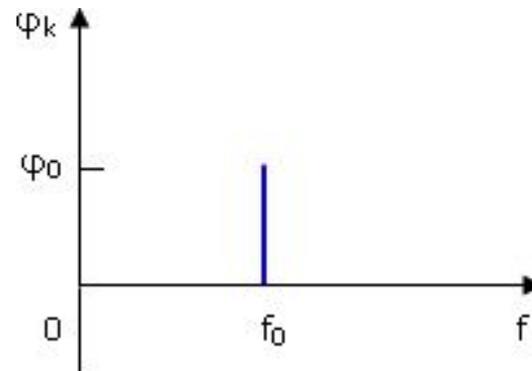


График спектра фаз

Периодические сигналы и их спектры

Сложный периодический сигнал (бигармонический сигнал):

$$U(t) = U_{m1} * \cos(\omega_1 * t + \varphi_2)$$

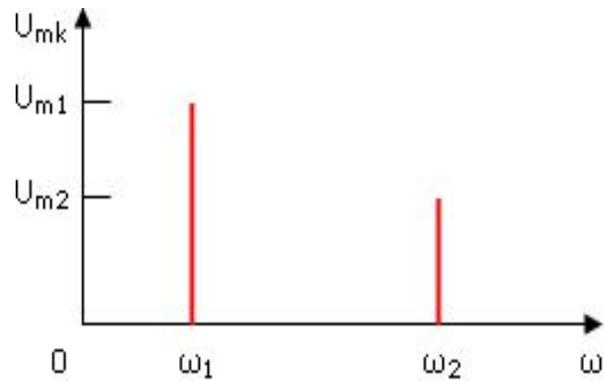


График спектра амплитуд

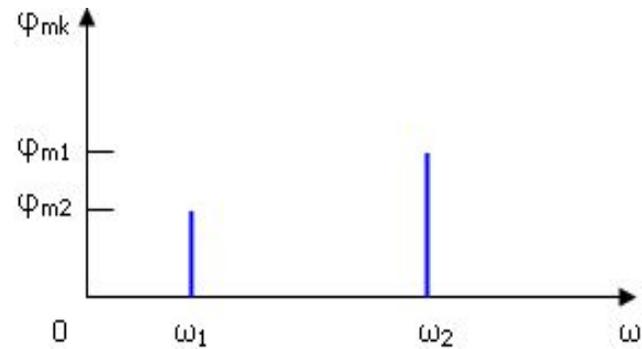


График спектра фаз

Периодические сигналы и их спектры

Последовательность прямоугольных импульсов

$$U(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [U_{mk} * \sin(k * \omega_1 * t + \varphi_k)] \quad k = 1, 2, \dots, \infty$$

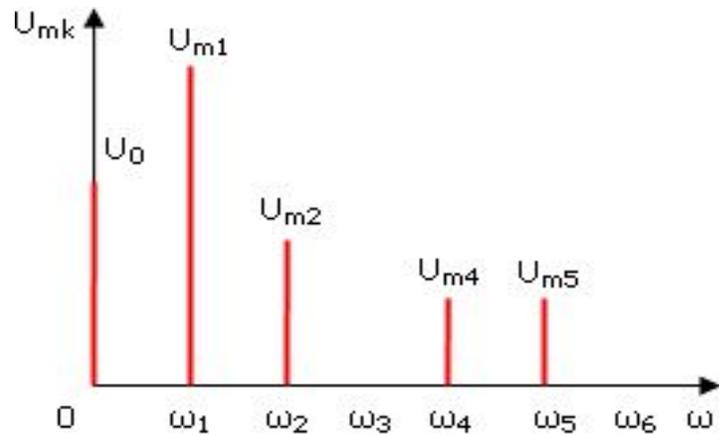


График спектра амплитуд

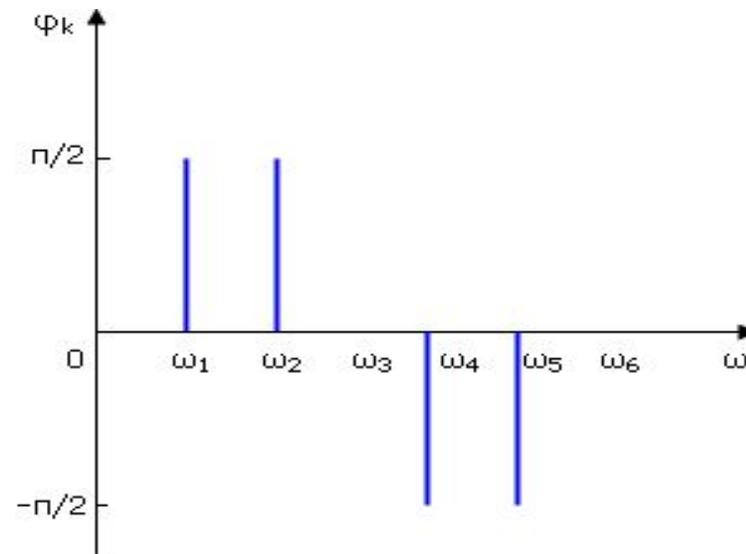
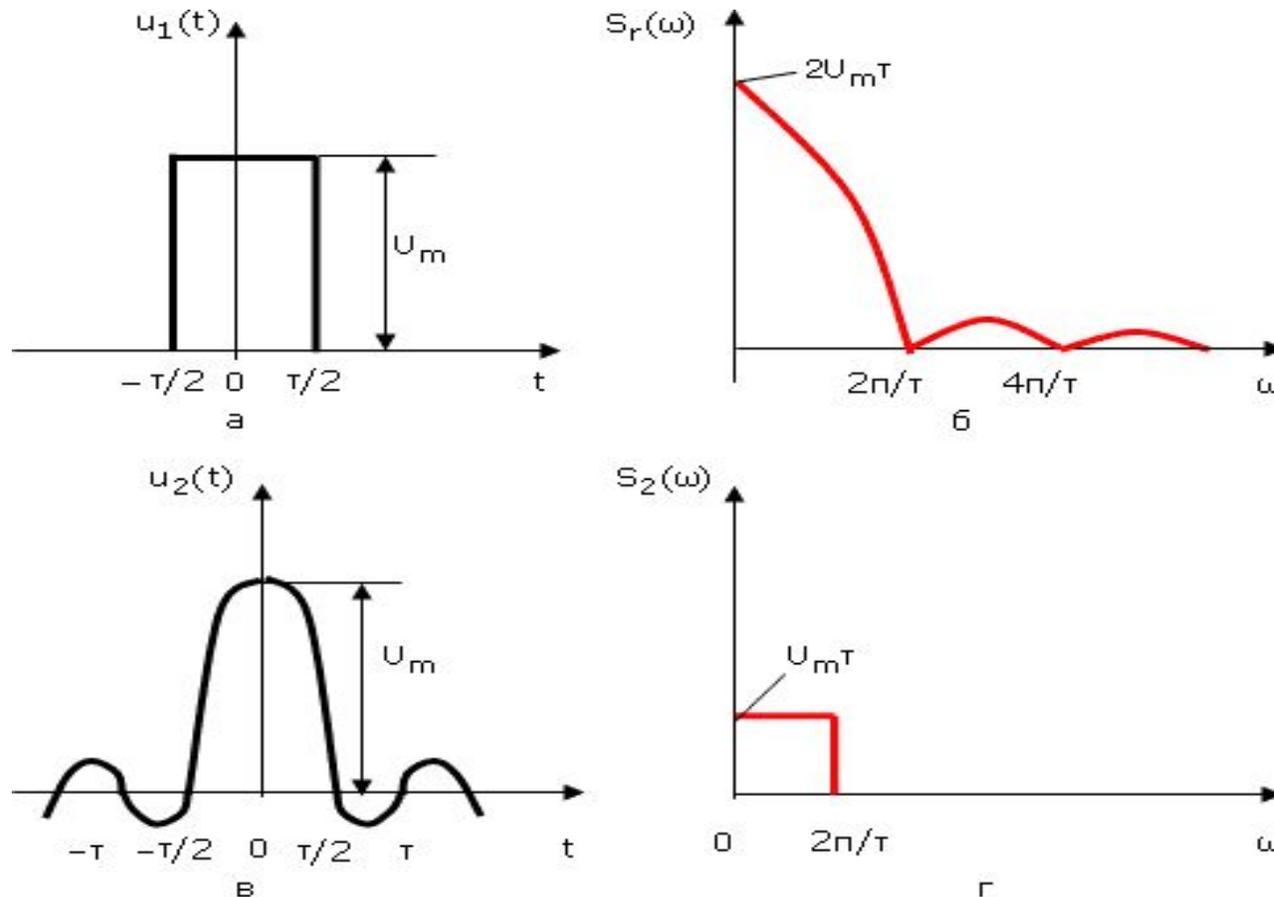


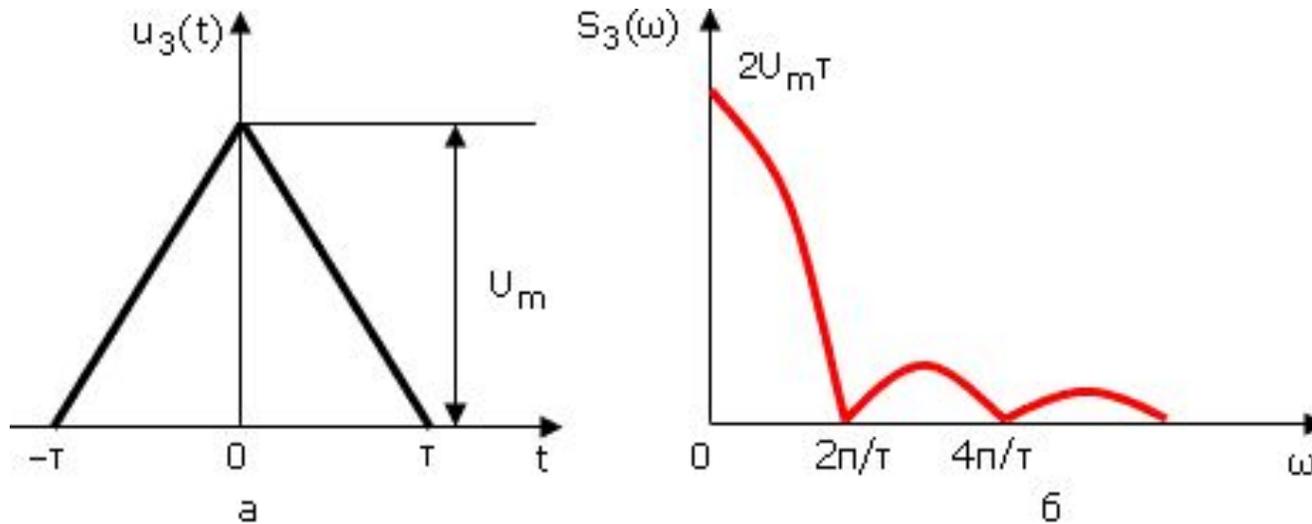
График спектра фаз

Непериодические сигналы и их спектры



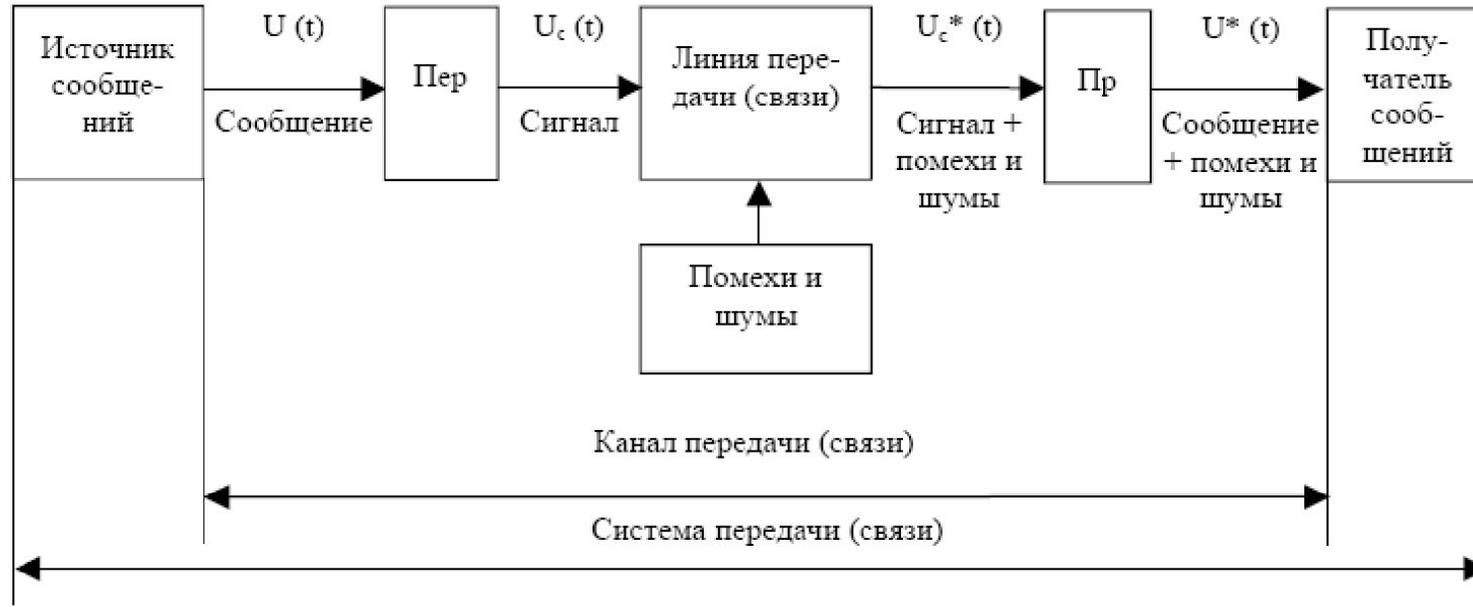
а, б – прямоугольный импульс и его спектральная плотность; в, г – затухающий импульс и его спектральная плотность.

Непериодические сигналы и их спектры

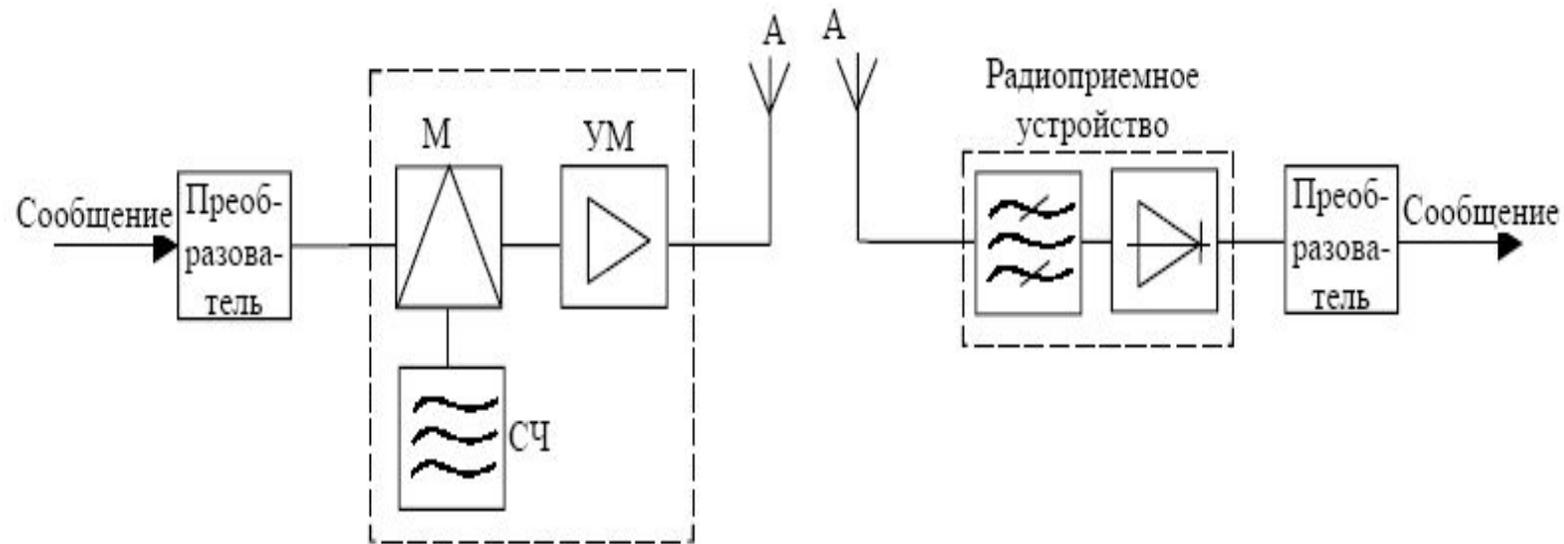


Треугольный импульс и его спектральная плотность а, б

Структурная схема системы передачи сигналов электросвязи



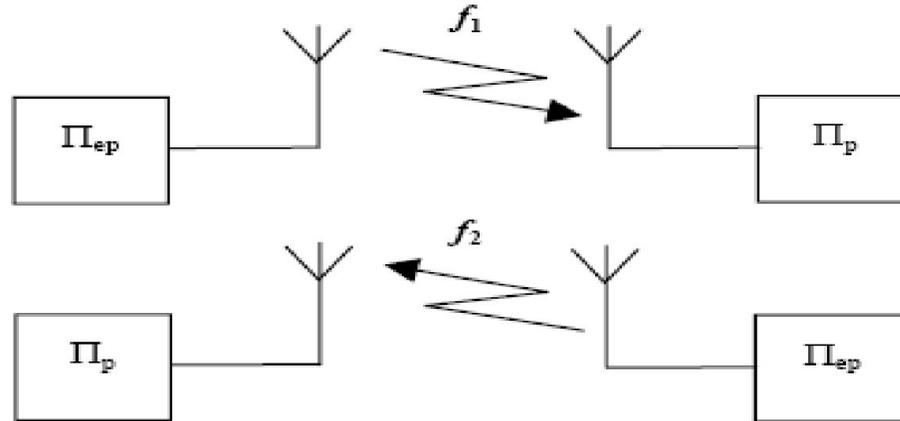
Принципы построения систем радиосвязи



Структурная схема радиолинии

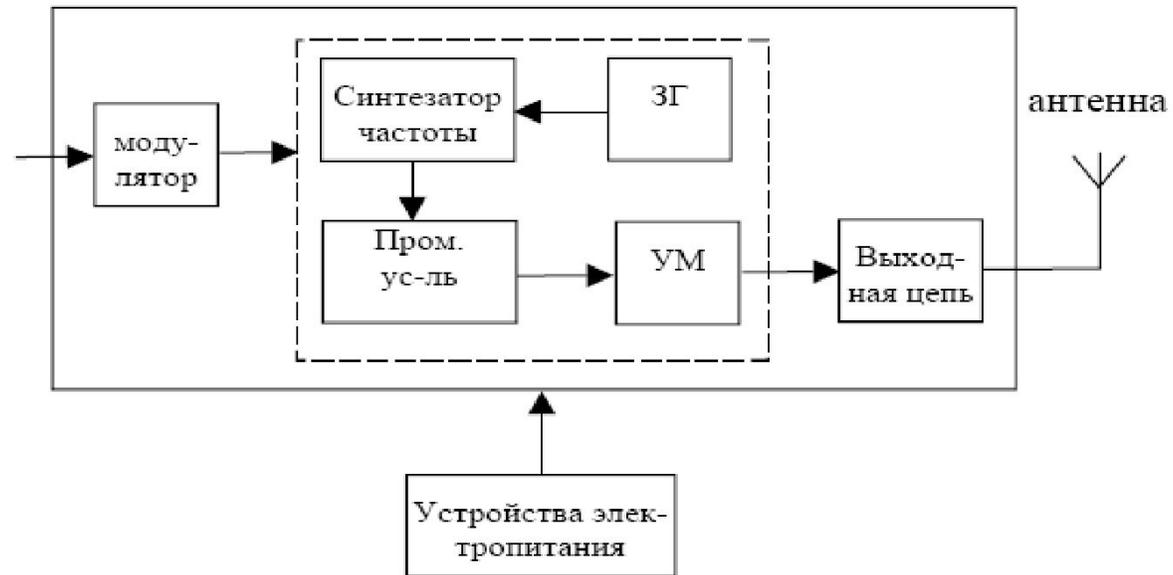
Принципы построения систем радиосвязи

радиосвязи



Структурная схема организации дуплексной радиосвязи

Принципы построения систем радиосвязи



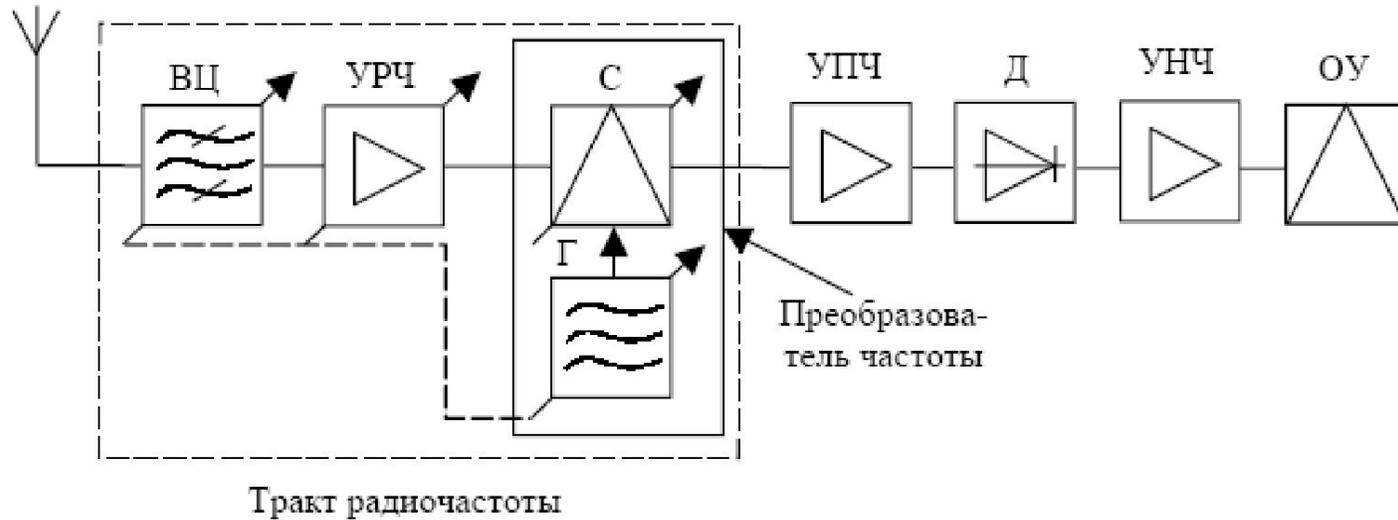
Структурная схема радиопередатчика

Принципы построения систем радиосвязи

Коэффициент полезного действия – отношение мощности высокочастотных колебаний к мощности потребляемой от источника постоянного тока, т.е

$$\eta = \frac{P_{\kappa}}{P_0};$$

Принципы построения систем радиосвязи



Структурная схема супергетеродинного приемника

Принципы построения систем радиосвязи

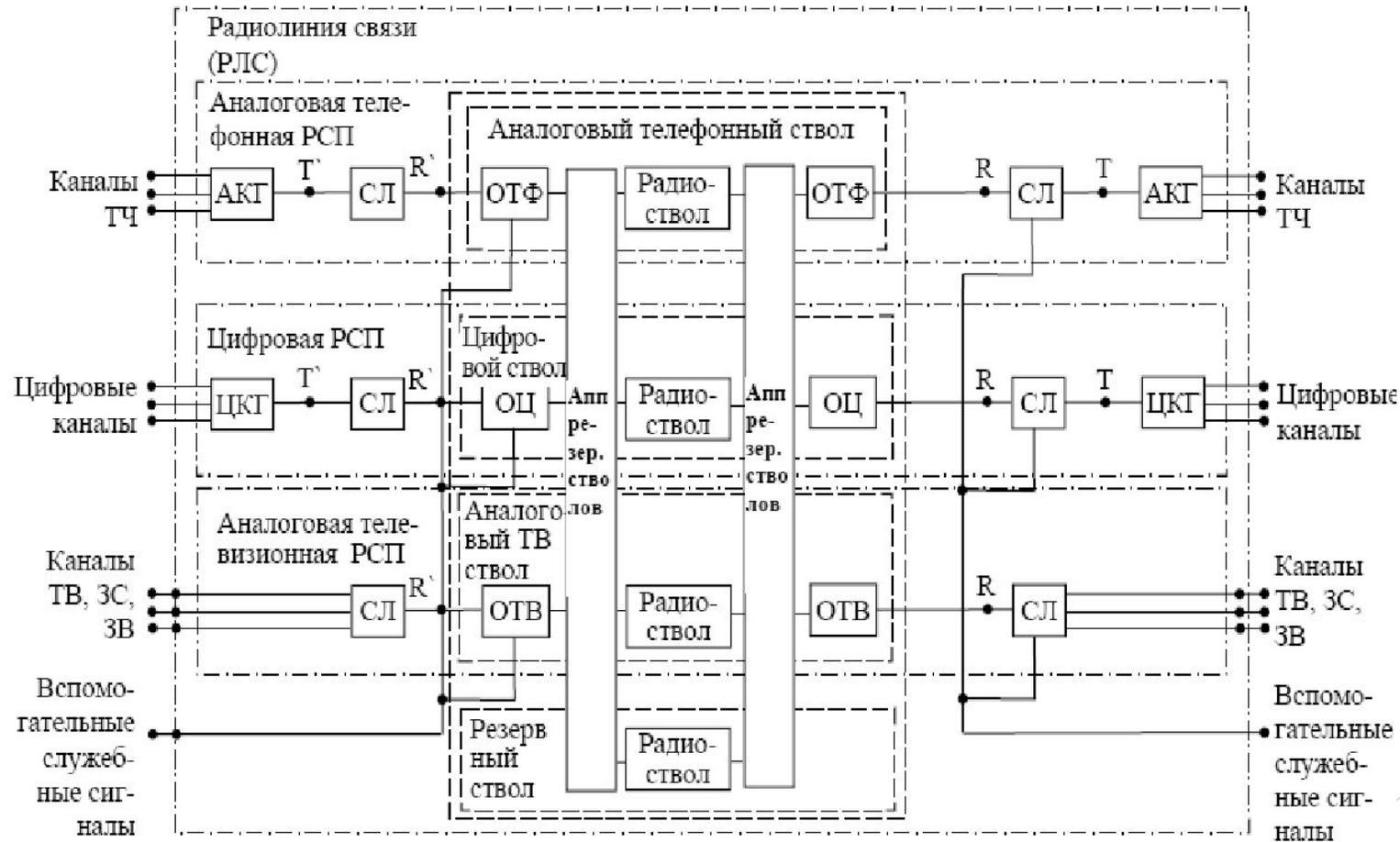
Мощность в антенне (P_a) – мощность, подводимая к антенне от передатчика, т.е.

$$P_a = P_{\text{и}} + P_{\text{п}}.$$

КПД антенны – отношение излучаемой мощности к мощности, подводимой к антенне

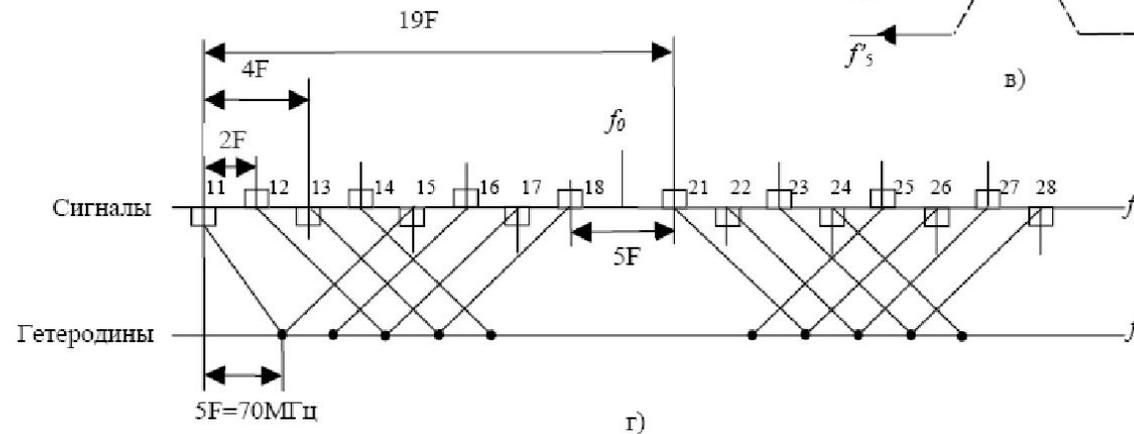
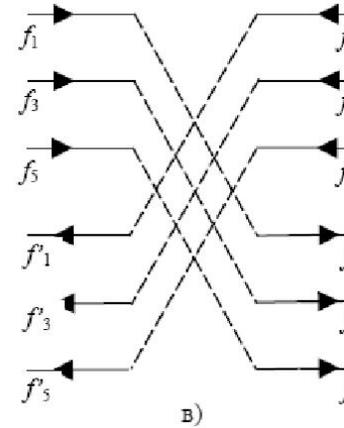
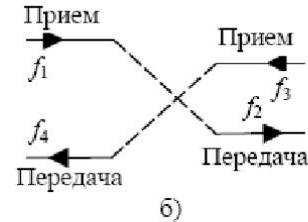
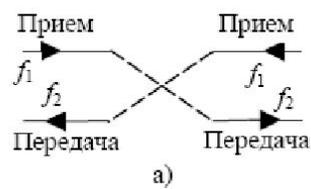
$$\eta = \frac{P_{\text{к}}}{P_0} = \frac{R_u}{R_u + R_n}$$

Принципы построения систем радиосвязи



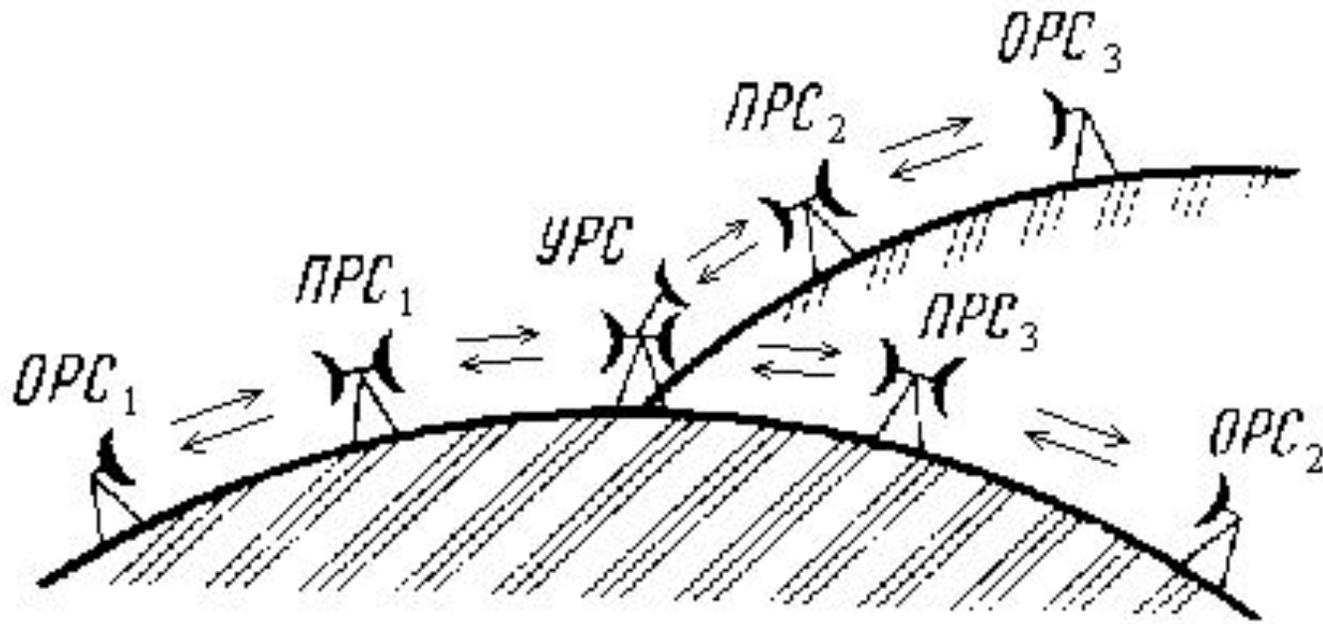
Структурная схема четырехствольной радиолинии связи

Принципы построения систем радиосвязи



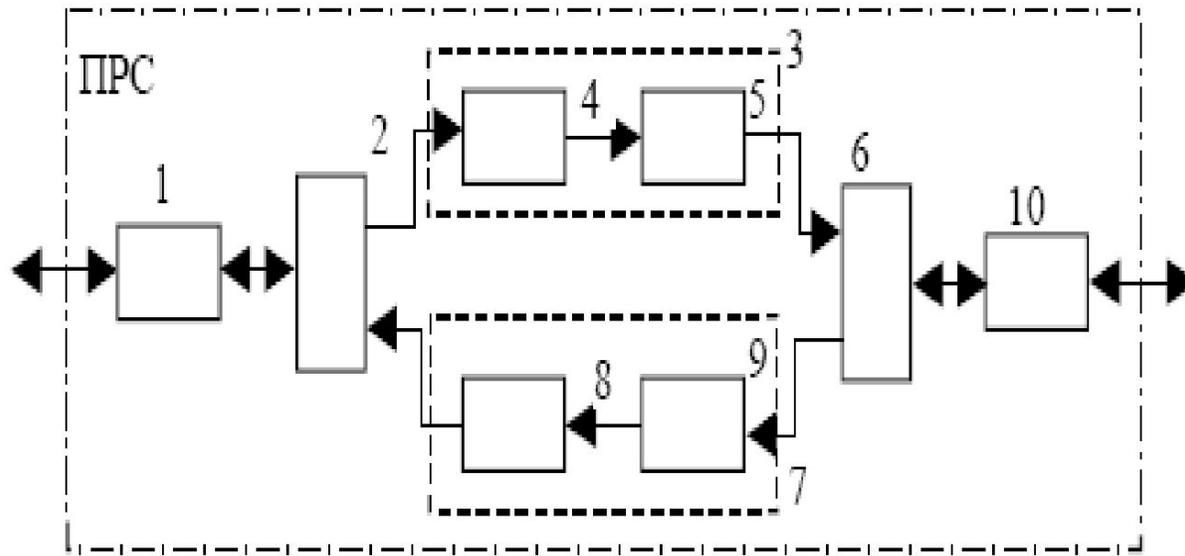
План распределения частот приема и передачи при двухчастотной системе (а);
при четырехчастотной системе (б);
план размещения частоты приема в одной половине диапазона, а частоты передачи – в другой (в);
план размещения несущих частот стволы и частот гетеродина (г).

Принципы построения систем радиосвязи



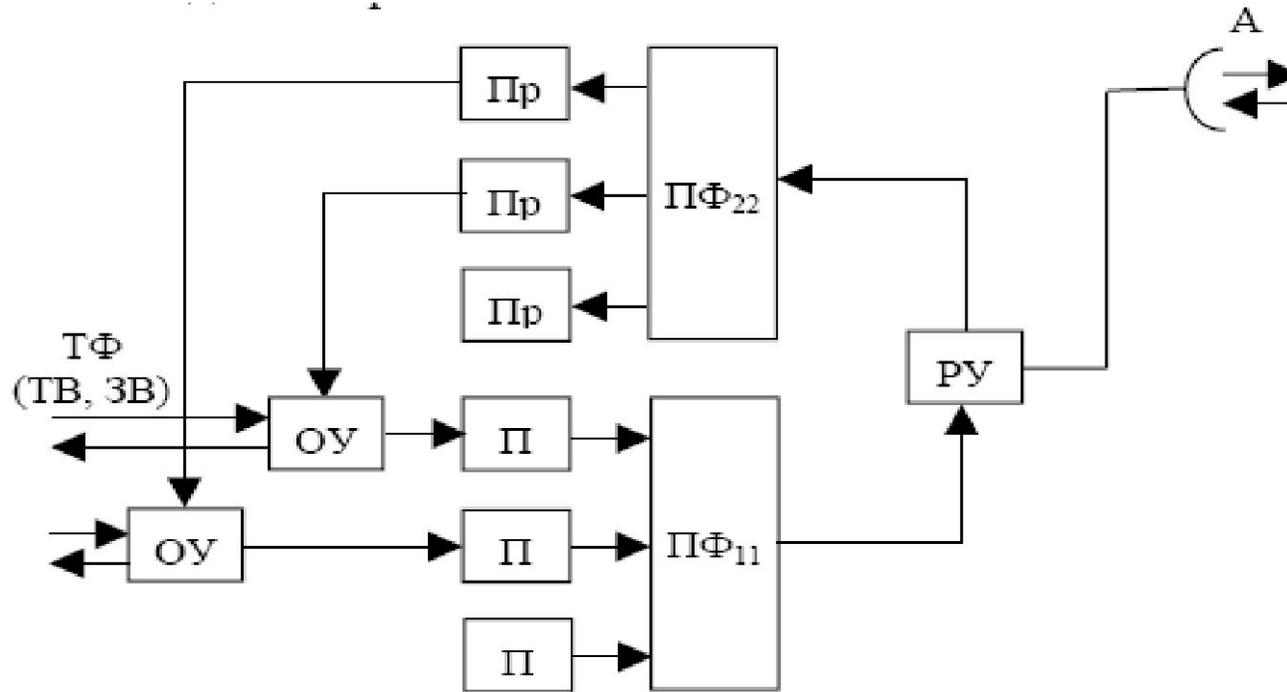
Радиорелейная система передачи

Принципы построения систем радиосвязи



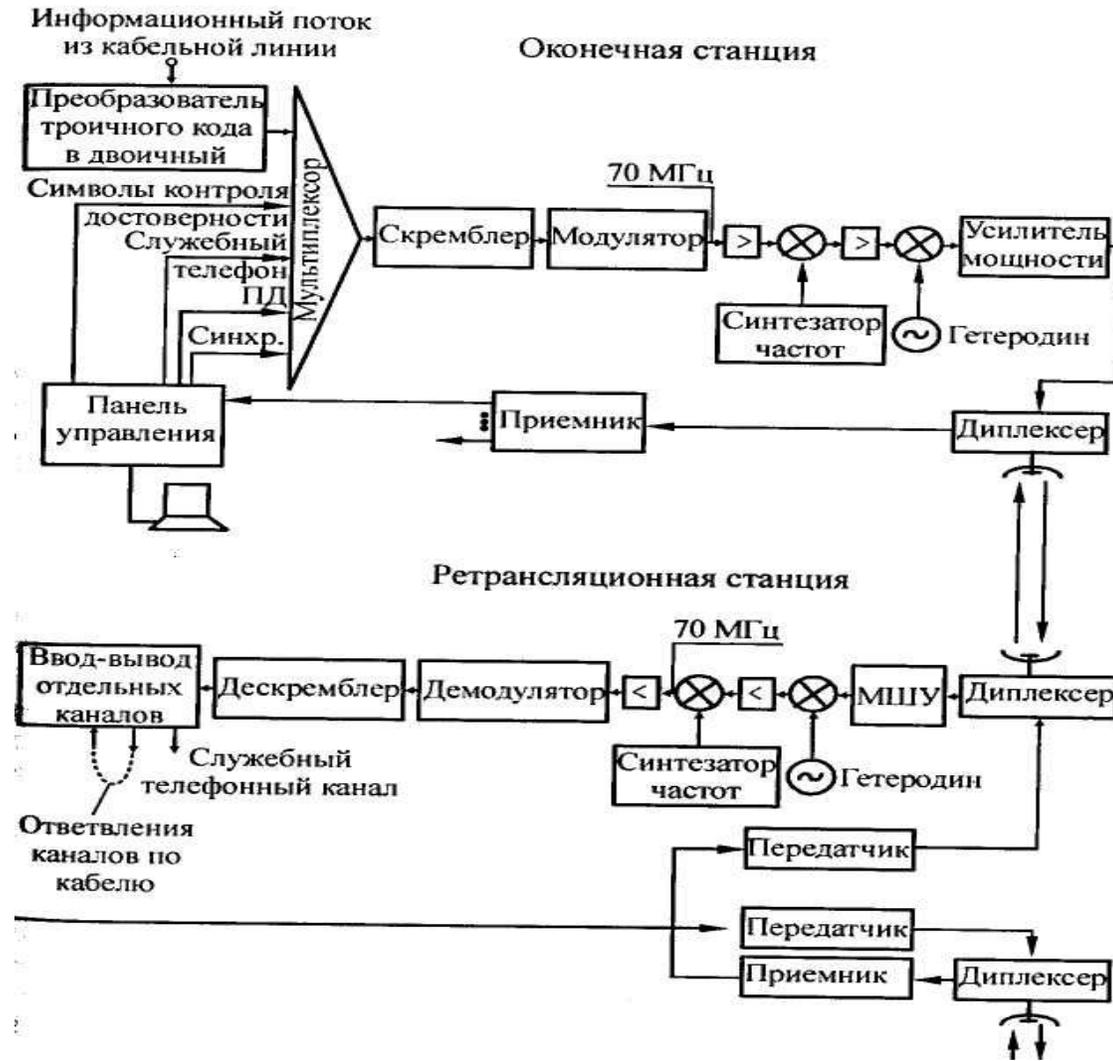
Структурная схема одноствольного ретранслятора РРЛ

Принципы построения систем радиосвязи



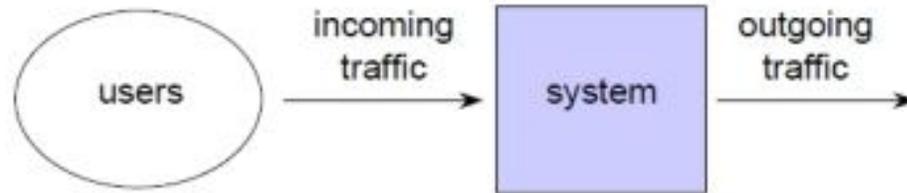
Структурная схема основного оборудования ОРС

Цифровые радиорелейные линии (ЦРРЛ)



Структурная схема основного оборудования ОРС

Целевые показатели теории телетраффика

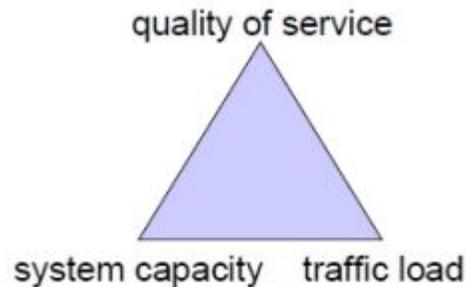


Телекоммуникационная система с точки зрения теории телетраффика

Целевые показатели теории телетраффика

Основной целью анализа любой СПД с точки зрения теории телетраффика является нахождение баланса между тремя целевыми показателями:

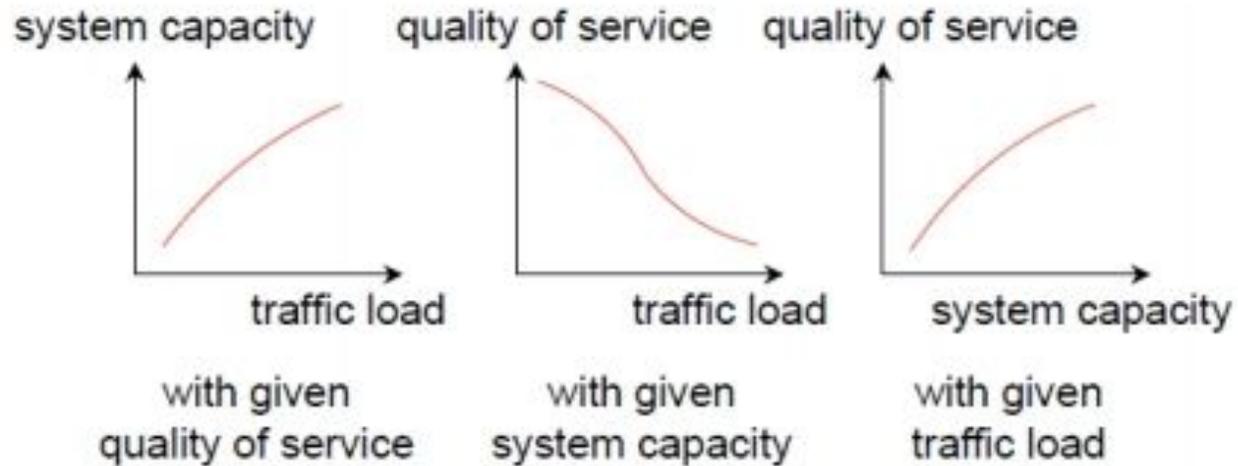
- Качеством обслуживания - QoS. Качество обслуживания в общем случае определяет достаточность возможностей системы связи для обслуживаемого абонента.
- Объем траффика\загрузка канала - объем траффика, передаваемого по каналу связи\процент загрузки имеющихся каналов связи².
- Системной емкостью - количеством одновременно обслуживаемых с заданным уровнем качества обслуживания абонентов.



Ключевые показатели теории телетраффика

Целевые показатели теории телетраффика

Качественно зависимости между данными показателями можно продемонстрировать следующим образом:



Качественные взаимоотношения ключевых показателей

Целевые показатели теории телетраффика

Качество обслуживания – QoS:

Для большинства СПД качество обслуживания определяется четырьмя параметрами:

- Полоса пропускания (Bandwidth), описывающая номинальную пропускную способность среды передачи информации, определяет ширину канала. Измеряется в бит\с.
- Задержка при передаче пакета (Delay), измеряется в мсек.
- Колебание (дрожжание) задержки при передаче пакетов (Jitter) - джиттер. Измеряется в мсек.
- Процент потерь пакетов (Packet loss). Определяет количество пакетов, потерянных в сети во время передачи.

Существует также и другое, бытовое понимание понятие качество об- служивания.

В этом контексте QoS - это совокупная субъективная оценка абонентом сервисов, предоставляемых системой.

Целевые показатели теории телетраффика

Системная емкость и загрузка канала

При рассмотрении СПД как системы массового обслуживания, основными параметрами для оценки возможностей данной системы являются параметры входящего потока вызовов. При этом параметры потока вызовов определяются в терминах системной емкости и загрузки канала:

- Количество вызовов, поступающих в единицу времени λ - интенсивность вызовов или средняя частота поступления вызовов.
- Время обслуживания одного вызова T (средняя продолжительность обслуживания вызова).
- Средний траффик $A = \lambda \cdot T$ - интенсивность траффика, интенсивность нагрузки, поток нагрузки, Эрл. При этом 1 Эрл (эрланг) соответствует непрерывному занятию одного канала (непрерывной работе одного абонента) на протяжении часа.

Для корректного расчета в эрлангах величина T должна измеряться в часах.

В подавляющем большинстве случаев параметры нагрузки - λ , T , A обычно оценивают для часа пик – т.е. часового интервала в период наибольшей нагрузки системы связи.

Свойства входящего потока вызовов

- Дискретный поток вызовов является стационарным, если для любой группы из числа различных отрезков времени вероятность поступления Z вызовов на протяжении каждого из отрезков времени обслуживания t зависит только от значений Z и t и не изменяется при сдвиге всех временных отрезков на одну и ту же величину Δt , т.е. параметры потока не зависят от времени.
- Отсутствие последствия означает, что вероятность поступления Z вызовов в течение отрезка времени t не зависит от того, сколько раз и как поступали вызовы ранее (количества вызовов в различные отрезки времени взаимно независимы).
- Ординарность дискретного процесса вызовов является условием того, что вероятность поступления двух или нескольких вызовов за сколь угодно малый отрезок времени бесконечно мала, т.е. в один и тот же момент времени может начаться реализовываться лишь один вызов. В противном случае поток вызовов называется групповым.

Простейший (пуассоновский) поток вызовов

$$P(t, Z) = \frac{(\lambda t)^Z}{Z!} e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

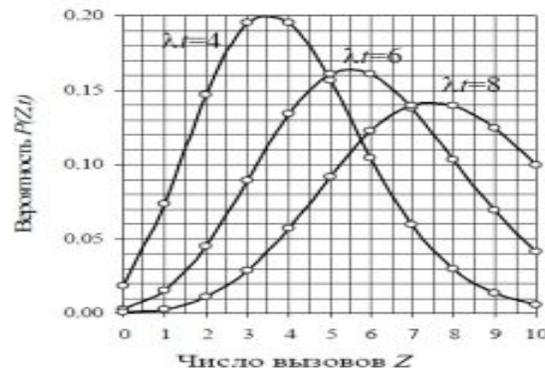
где λ - интенсивность потока вызовов (мат. ожидание числа вызовов за единицу времени t .)

Для пуассоновского потока вызовов выполняется условие равенства мат. ожидания μ и дисперсии σ процесса:

$$\mu = D_\mu = \lambda t. \quad (2)$$

На следующем рисунке приведены графики распределения Пуассона для трех типичных случаев:

- 1 $\lambda = 20$ вызовов-час; $T = 0,2$ ч. и $\lambda t = 4$ эрл.
- 2 $\lambda = 30$ вызовов-час; $T = 0,2$ ч. и $\lambda t = 6$ эрл.
- 3 $\lambda = 40$ вызовов-час; $T = 0,2$ ч. и $\lambda t = 8$ эрл.

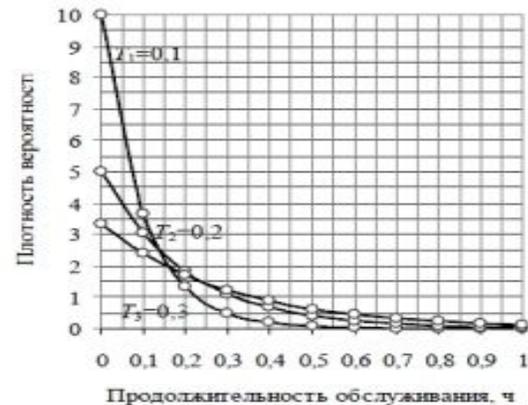


Распределения Пуассона для различных типов траффика

Простейший (пуассоновский) поток вызовов

$$W(\tau) = \frac{1}{T} e^{-\frac{\tau}{T}}, \tau \geq 0, \quad (3)$$

при этом мат. ожидание $M(\tau) = T$, $D(\tau) = T^2$, т.е. среднее совпадает с продолжительностью обслуживания одного вызова. На следующем рисунке приведен график экспоненциального распределения продолжительности обслуживания для $T_1 = 0,1$ ч.; $T_2 = 0,2$ ч.; $T_3 = 0,3$ ч.



Продолжительность обслуживания для различных типов трафика

Вероятность поступления Z вызовов $P(t, z)$ в течение промежутка времени t достигает наибольшего значения при $t = \frac{Z}{\lambda}$, где $Z = 0, 1, 2$ и т.д. Она может рассматриваться как вероятность одновременного занятия Z коммутационных ячеек (например, каналов базовой станции), через которые проходят вызовы с интенсивностью λ и средней продолжительностью каждого вызова t .

Уровень обслуживания. Модели Эрланга

1. Модель Эрланга А - система с ограничением времени ожидания и времени обслуживания - система с очередностью обслуживания. Вызовы при занятых каналах становятся в очередь и ждут освобождения канала ограниченное время. Данная модель используется при проектировании сотовых сетей связи.
2. Модель Эрланга В - система с отказами; вызовы при занятых каналах связи аннулируются. Данная модель используется при проектировании сотовых сетей связи.
3. Модель Эрланга С - система с ожиданиями; вызовы при занятых каналах становятся в очередь и ждут освобождения канала неопределенно долгое время. Данная модель используется при проектировании транкинговых сетей связи.

Все указанные модели починаются следующим дополнительным условиям:

- Количество (размер множества) абонентов бесконечно велико.
- Интервалы между вызовами случайны.
- Длительность вызовов случайна.
- Время установления соединения ничтожно мало.
- Вызов, поступивший первым в очередь, первым же ее и покидает.
- Ресурсы предоставляются в соответствии с порядком поступления запроса.

Модель Эрланга А - система с очередностью обслуживания

В системе, описываемой моделью Эрланга А вызов, поступивший в момент занятости всех каналов, становится в очередь, но при этом время ожидания не превышает среднего времени обслуживания. Если в течении этого времени хотя бы один канал СПД освобождается, находящийся первым в очереди вызов его занимает. С учетом указанной детализации, вероятность отказа в данной системе согласно общей формуле Эрланга:

$$GOS_A = P_A(Z, N, T) = \sum_{Z=N}^{\infty} \frac{A^Z}{Z!} e^{-A},$$

где $A = \lambda T$ - средний трафик системы (эрл).

Модель Эрланга В - система с отказами

Система с отказами является наиболее распространенным типом АССиПД. Для систем такого рода формула Эрланга для определения вероятности отказа в обслуживании выглядит следующим образом:

$$GOS_B = P_B = \frac{A^N}{N! \cdot \sum_{Z=0}^N \left(\frac{A^Z}{Z!}\right)} = \frac{(\lambda T)^N}{N! \sum_{Z=0}^N \left(\frac{(\lambda T)^Z}{Z!}\right)}.$$

1 Вероятность того, что вызов будет блокирован:

$$P_B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{Z=0}^N \frac{A^Z}{Z!}}.$$

2 Вероятность того, что все каналы будут свободны:

$$GOS_{B_0} = P_{B_0} = \frac{1}{\sum_{Z=0}^N \left(\frac{A^Z}{Z!}\right)} = \frac{1}{\sum_{Z=0}^N \left(\frac{(\lambda T)^Z}{Z!}\right)}.$$

3 Вероятность того, что заняты будут K каналов:

$$GOS_{B_K} = P_{B_K} = \frac{P_{B_0} A^K}{K!} = \frac{P_{B_0} (\lambda T)^K}{K!}.$$

4 Среднее число занятых каналов:

$$\mu_B = P_{B_0} \sum_{Z=1}^N \frac{A^Z}{(Z-1)!} = P_{B_0} \sum_{Z=1}^N \frac{(\lambda T)^Z}{(Z-1)!}.$$

Модель Эрланга С - система с ожиданиями

Наконец, для системы с ожиданиями, формула Эрланга определяет вероятность задержки обслуживания (т.е. вероятность постановки в очередь):

$$GOS_C = P_C(Z, N, T) = \frac{\frac{A^N}{N!(N-A)}}{\sum_{Z=0}^{N-1} \left(\frac{A^Z}{Z!} + \frac{A^N}{N!(N-A)} \right)}$$

1 Вероятность того, что вызов будет удержан (поставлен в очередь):

$$P_q = \frac{A^N}{A^N + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{Z=0}^{N-1} \frac{A^Z}{Z!}}$$

2 Вероятность того, что все каналы будут свободны:

$$GOS_0 = P_0(Z, N, T) = \frac{1}{\sum_{Z=0}^{N-1} \left(\frac{A^Z}{Z!} + \frac{A^N}{N!(N-A)} \right)}$$

3 Вероятность того, что заняты будут K каналов:

$$GOS_K = P_K(Z, N, T) = \frac{P_{C0} A^K}{K!}$$

Модель Эрланга С - система с ожиданиями

4 Среднее число занятых каналов:

$$\mu_C = P_{C0} \sum_{Z=1}^N \frac{A^Z}{(Z-1)!}$$

5 Вероятность того, что удержанный вызов будет находиться в очереди более, чем время T, составляет:

$$P_{t>T}^d = e^{-(N-A) \cdot \frac{t}{t_{av}}},$$

где t_{av} - среднее время удержания канала в пересчете на одного абонента (в час наибольшей нагрузки).

6 В свою очередь, вероятность того, что любой вызов будет находиться в очереди более, чем время T, составляет:

$$P_{t>T}^{any} = P_{t>T}^d \cdot e^{-(N-A) \cdot \frac{t}{t_{av}}},$$

Данную величину также часто принимают за **количественную характеристику качества обслуживания**.

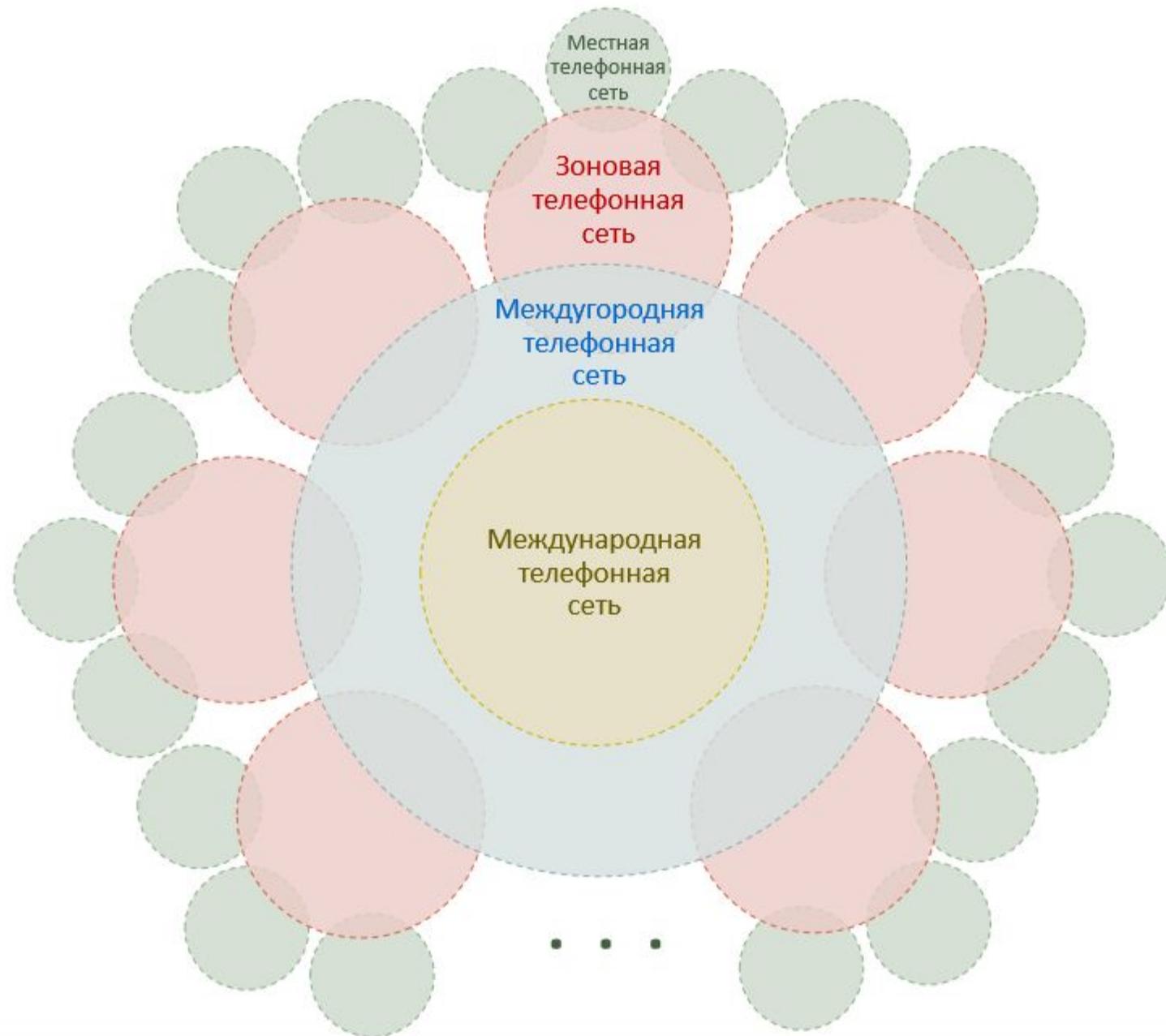
Модель Эрланга С - система с ожиданиями

Рассмотренные аналитические выражения являются неудобными, поэтому на практике используют табулированные значения данных формул. Пример таблицы значений формул Эрланга для распространенных системных параметров приведен далее.

Вероятность отказа при заданном числе каналов базовой станции (GOS_B, GOS_C)						
Трафик	N = 8		N = 24		N = 32	
	Модель В	Модель С	Модель В	Модель С	Модель В	Модель С
1	$9,124 \times 10^{-6}$	$1,303 \times 10^{-5}$	0,000	0,000	0,000	0,000
3	$8,132 \times 10^{-3}$	$1,637 \times 10^{-3}$	$2,266 \times 10^{-14}$	$1,079 \times 10^{-15}$	0,000	0,000
5	0,070	0,024	$6,473 \times 10^{-10}$	$3,407 \times 10^{-11}$	0,000	0,000
7	0,179	0,179	$2,816 \times 10^{-7}$	$1,656 \times 10^{-8}$	$3,827 \times 10^{-12}$	$1,531 \times 10^{-13}$
9	0,289	-0,686	$1,587 \times 10^{-5}$	$1,058 \times 10^{-6}$	$1,610 \times 10^{-9}$	$7,002 \times 10^{-11}$
11	0,383	-0,261	$2,652 \times 10^{-4}$	$2,040 \times 10^{-5}$	$1,340 \times 10^{-7}$	$6,382 \times 10^{-9}$
13	0,458	-0,204	$1,981 \times 10^{-3}$	$1,805 \times 10^{-4}$	$3,804 \times 10^{-6}$	$2,002 \times 10^{-7}$
15	0,519	-0,182	$8,394 \times 10^{-3}$	$9,396 \times 10^{-4}$	$5,016 \times 10^{-5}$	$2,951 \times 10^{-6}$
17	0,569	-0,172	0,024	$3,442 \times 10^{-3}$	$3,727 \times 10^{-4}$	$2,485 \times 10^{-5}$
19	0,609	-0,165	0,050	0,010	$1,775 \times 10^{-3}$	$1,368 \times 10^{-4}$

Табулированные значения для моделей Эрланг В, С

Четыре уровня Базовой сети



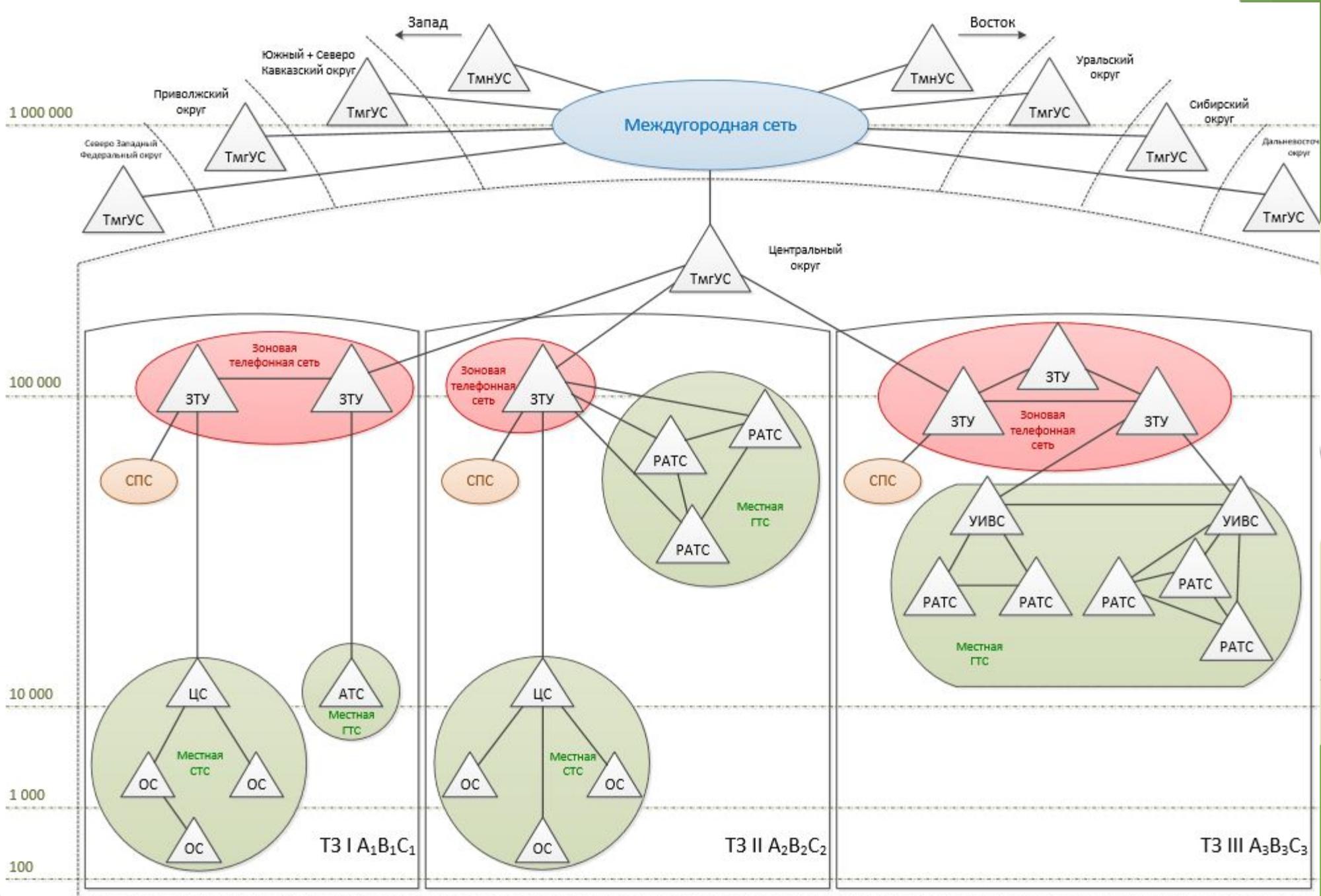
Уровни базовой сети

Местные телефонные сети подразделяются на городские телефонные сети (ГТС), которые создаются в пределах города и сельские (СТС), создающиеся в пределах сельского административного района.

Зоновая телефонная сеть предназначена для организации взаимодействия местных телефонных сетей в пределах одной телефонной зоны и обеспечивает доступ этих сетей к вышестоящим сетям. Обычно телефонная зона покрывает субъект Федерации. За каждой зоной закреплен уникальный код АВС, который служит для ее идентификации, при установлении междугородного вызова.

Междугородная телефонная сеть обеспечивает связь между зоновыми сетями и предоставляет доступ к международной сети.

Международная телефонная сеть предполагает наличие как минимум двух узлов связи в европейской части страны и двух в азиатской.



Аналоговые местные сети

До появления ЦСК, ВОЛС и SDH местные сети строились с узлообразованием. Для СТС наиболее распространенный радиально-узловой принцип построения, который предполагает установку в районном центре центральной станции (ЦС), нескольких узловых станций (УС) в крупных населенных пунктах и конечных станций, небольшой емкости, подключаемых как к УС, так и напрямую к ЦС. При радиальном способе построения отсутствовали УС. ГТС в зависимости от емкости подразделялись на нерайонированные с одной автоматической телефонной станцией (АТС), районированные с районными АТС (РАТС) устанавливаемыми в каждом районе города и районированные с узлообразованием с узлами исходящей, входящей связи (УИВС)

Цифровые местные сети

Динамическое развитие отрасли связи привело к изменению архитектуры сети и как следствие использованию новой терминологии, на смену телефонным станциями пришли узлы связи. Цифровизация сети, начинавшаяся в мегаполисах постепенно проникает все глубже, современные технологии охватывают половину малых городов России. К 2018 году операторы большой четверки (Вымпелком, МегаФон, Мобильные ТелеСистемы и Ростелеком) планируют обеспечить цифровой связью населенные пункты емкостью от 10 до 50 тысяч человек. Однако, по прежнему остается открытый вопрос с малыми поселениям, в которых, в лучшем случае, установлены только таксофоны. Таких, нерентабельных, с коммерческой точки зрения, поселений насчитывается 1343. Часть из них возможно подключить используя оптические каналы связи, часть используя спутниковые. В качестве источника финансирования работ могут быть использованы средства Фонда универсального обслуживания, в который операторы отчисляют 1,2% выручки.

Зоновая сеть

Зоновая телефонная сеть состоит из зоновых транзитных узлов (ЗТУ), которые обеспечивают подключение местных телефонных сетей и сетей сотовой подвижной связи в пределах одной телефонной зоны. Местные узлы связи подключаются к зоновым узлам с помощью заказно-соединительных линий (ЗСЛ) и соединительных линий междугородной связи (СЛМ).

Междугородная и международная сеть

В каждом федеральном округе размещается транзитный междугородный узел связи (ТмГУС), исключение составляет Южный федеральный округ и Северо-Кавказский федеральный округ на эти два округа допускается установка одного ТмГУС

Каждый ТмГУС связан минимум с шестью другими (по одному из каждого федерального органа). ТмГУС обеспечивает выход, минимум, на два транзитных международных узла связи (ТМНУС)

Транзитные международные узлы связи (ТМНУС) размещаются не менее чем в двух федеральных округах европейской части и не менее чем в двух федеральных округах азиатской части Российской Федерации.

Все транзитные международные узлы связи являются смежными.

Операторы дальней связи

С момента появления и до начала XXI века междугородная телефонная связь в России была монополизирована, на сегодняшний день на рынке междугородной, международной связи представлено 12 операторов (Табл.2), что привело к изменению принципов оказания услуг связи. Помимо возможности работы с заранее определенным оператором связи(pre-select), появилась возможность выбора оператора для каждого сеанса связи (Hot-choice)

Код ХУ	Оператор
55	Ростелеком
51	Вымпелком
57	Компания ТрансТелеКом
59	Эквант
21	Арктел
23	Мобильные ТелеСистемы
53	Межрегиональный ТранзитТелеком
14	О.С.С.-Телеком
15	МегаФон
16	ОптиТелеком
17	Мобифон-2000
24	КОННЭКТ

Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций РФ от 19 марта 2010 г. N 46 "О назначении кодов выбора операторов сетей междугородной и международной телефонной связи"

С изменениями и дополнениями от:

7 февраля, 26 мая 2011 г., 18 декабря 2013 г.

В целях обеспечения права абонента сети фиксированной телефонной связи на выбор оператора, оказывающего услуги междугородной и международной телефонной связи, а также на основании [пункта 8](#) Правил распределения и использования ресурсов нумерации единой сети электросвязи Российской Федерации, утвержденных [постановлением](#) Правительства Российской Федерации от 13 июля 2004 г. N 350 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, N 29, ст. 3056; 2006, N 2, ст. 195; 2007, N 28, ст. 3440; 2007, N 41, ст. 4902; 2008, N 42, ст. 4832), и [приказа](#) Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 29.12.2008 N 117 "Об утверждении Требований к оказанию услуг связи в части установления формата набора номера для выбора оператора связи, оказывающего услуги междугородной и международной телефонной связи при автоматическом способе установления телефонного соединения" (зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 12 февраля 2009 г., регистрационный N 13318) (далее - Приказ Минкомсвязи России N 117) приказываю:

1. Назначить для обеспечения доступа абонентов (пользователей услугами связи) к услугам междугородной и международной телефонной связи коды выбора операторов сетей междугородной и международной телефонной связи согласно [приложению N 1](#).
2. Осуществить переход к использованию формата набора номера, установленного [Приказом](#) Минкомсвязи России N 117, при оказании услуг междугородной и международной телефонной связи по мере создания операторами местной и внутризонавой телефонной связи на своих сетях технической и организационной возможности реализации данного формата, но не позднее 1 января 2013 г. Этапность перехода определяется оператором связи самостоятельно по мере появления технической возможности.
3. В случае отсутствия технической возможности использования формата набора номера, установленного [Приказом](#) Минкомсвязи России N 117, в период до 1 января 2013 г. использовать формат набора номера, коды выбора операторов междугородной и международной телефонной связи и значения категории окончного элемента сети связи согласно [приложению N 2](#) и [приложению N 3](#).
4. Значения кодов выбора операторов междугородной и международной связи 10, 52, 54, 56, 58, 26, 27, 28 могут быть назначены не ранее 1 января 2018 г.
5. Направить настоящий приказ в Министерство юстиции Российской Федерации на государственную регистрацию.
6. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на заместителя Министра связи и массовых коммуникаций Российской Федерации Н.С. Мардера.

И.О. Щёголев

Приложение N 2

П Л А Н

набора номера при предварительном выборе абонентом оператора связи, оказывающего услуги междугородной и международной телефонной связи

	При междугородном телефонном соединении	При международном телефонном соединении
План набора номера при предварительном выборе абонентом оператора связи, оказывающего услуги междугородной и международной телефонной связи	"8" - ABC - авх - x 5 1	"8" - 10 - код страны - национальный (значащий) номер абонента

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

Широкая полоса пропускания — по сравнению с электромагнитной средой. Одно волокно, работающее на длине волны 1300 или 1550 нм, потенциально имеет ширину полосы 20 ТГц. Это дает возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации со скоростью несколько терабит в секунду. Это достаточно для размещения приблизительно 250 миллионов каналов со скоростью передачи 64 Кбит/с.

Малое затухание светового сигнала в волокне. Выпускаемое в настоящее время отечественными и зарубежными производителями промышленное оптическое волокно имеет затухание 0,2-0,35 дБ/км на длине волны 1300 и 1500 нм. При допустимом затухании 20 дБ максимальное *расстояние* между усилителями или повторителями составляет около 100 км и более.

Низкий уровень шумов в волоконно-оптическом кабеле позволяет увеличить полосу пропускания, путем передачи с использованием различной модуляции сигналов без защиты и контролировать правильность принятой информации только в оконечных терминалах. Это упрощает алгоритмы обработки и еще больше увеличивает реальную *скорость передачи*.

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

Защищенность от электромагнитных помех. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.). В многоволоконных кабелях также не возникает проблемы перекрестного затухания.

Малый вес и объем. Волоконно-оптические кабели имеют меньший *вес* и *объем* по сравнению с медными кабелями в расчете на одну и ту же пропускную способность. Например, 900-парный телефонный *кабель* диаметром 7,5 см, может быть заменен одним волокном с диаметром 0,1 см. Если волокно "одеть" во множество защитных оболочек и покрыть стальной ленточной броней, *диаметр* такого кабеля будет 1,5 см, что в несколько раз меньше рассматриваемого телефонного кабеля.

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

Высокая безопасность от несанкционированного доступа. Поскольку оптоволоконный кабель практически не излучает в радиодиапазоне, передаваемую информацию трудно подслушать, не нарушая приема/передачи. Более того, несанкционированные отводы (см. в разделе "Оптические соединители") в оптической системе реализуются более сложно, и требуют подключения с помощью сложного оборудования. Несанкционированные подключения в оптической сети проще обнаруживаются. Системы, отслеживающие качество распространяемых световых сигналов (как по разным волокнам, так и разной поляризации), имеют очень высокую чувствительность к колебаниям, к небольшим перепадам давления. Поэтому оптические системы со слежением за качеством сигнала особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных.

Гальваническая развязка элементов сети. Данное преимущество оптического волокна заключается в его изолирующем свойстве. Оптоволоконные кабели не требуют заземления оболочки, защищающего от "блуждающих токов" и высоковольтных наводок по "земле", при которых может возникнуть большая разность потенциалов, что для электромагнитных кабелей может привести к повреждению сетевого оборудования.

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

Пожаробезопасность. Из-за отсутствия искрообразования оптическое волокно повышает *безопасность* сети на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при обслуживании технологических процессов повышенного риска.

Уменьшение требований к линейно-кабельным сооружениям. Волоконно-оптические кабели освобождают переполненные кабельные трубопроводы. Как уже отмечалось выше, волоконно-оптические кабели имеют меньший объем в расчете на одну и ту же пропускную способность, в связи с чем *переполнение* кабельных трубопроводов становится маловероятным, даже при интенсивном росте широкополосных услуг.

Экономичность волоконно-оптического кабеля. Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличие от меди. В настоящее время *стоимость* волокна *по* отношению к медной паре определяется как 2:5. При этом волоконно-оптический *кабель* позволяет передавать сигналы на большие расстояния без ретрансляции. Количество повторителей на протяженных линиях сокращается при использовании волоконно-оптического кабеля. Современные системы передачи позволяют достигнуть дальности около 400 км. только с использованием оптических усилителей на промежуточных узлах при скорости передачи выше 10 Гбит/с.

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

Длительный срок эксплуатации. Со временем волокно испытывает деградацию. Это означает, что затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако благодаря совершенству современных технологий производства оптических волокон этот процесс значительно замедлен, и срок службы волоконно-оптического кабеля составляет примерно 25 лет. За это время может смениться несколько поколений стандартов приемо-передающих систем. Сроки старения оптических кабелей гораздо больше, чем сроки деградации электромагнитных кабельных сооружений.

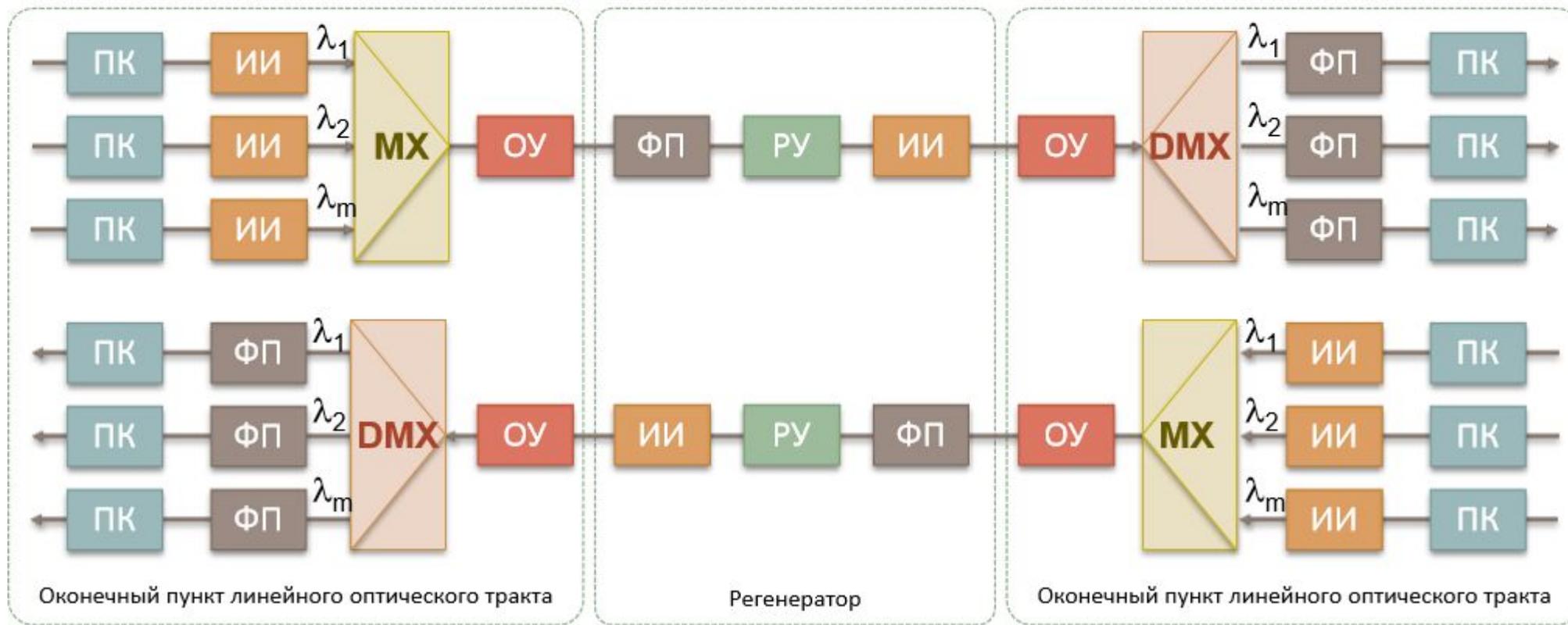
WDM [Wavelength Division Multiplexing]

Технология многоволнового уплотнения оптических несущих – WDM (Wavelength Division Multiplexing). В ней используется то обстоятельство, что по одному волокну передаются одновременно сигналы на многих длинах волн.

Суть технологии WDM состоит в том, что m информационных цифровых потоков, переносимых каждый на своей оптической несущей на длине волны λ_m и разнесенных в пространстве, с помощью специальных устройств – оптических мультиплексоров (OM) – объединяются в один оптический поток $\lambda_1 \dots \lambda_m$, после чего он вводится в оптическое линейное волокно, входящее в состав оптического кабеля. На приемной стороне производится обратная операция демультиплексирования.

Технология WDM имеет ряд достоинств:

- пропускную способность транспортной сети с WDM легко наращивать;
- транспортные сети, основанные на технологии WDM, обладают большой гибкостью;
- сигналы, передаваемые по одному волокну, во всех спектральных каналах можно усилить с помощью одного оптического усилителя.



Преобразователь кода (ПК) Источник излучения (ИИ) Фотоприемные устройства (АГ) Оптический усилитель (ОУ) Решающие устройства (РУ)

Классы WDM

В зависимости от интервала частот между спектральными каналами WDM системы делятся на два основных класса: системы редкого (неплотного) спектрального уплотнения (coarse – WDM (CDMA)) с числом каналов менее 40, и системы плотного спектрального уплотнения (dense – WDM (DWDM)) с числом каналов в системе более 80.

Системы dense – WDM соответствуют уровню STM-64 (10 Гбит/с) и позволяют передавать 8/96 длин волн в диапазоне 1550 нм с интервалом 50/100 ГГц.

Следующее поколение систем DWDM связано с уровнем STM-256 (40 Гбит/с), позволяет передавать по одному волокну 100/200 длин волн в диапазоне 1550 нм с интервалом между каналами 25/50 ГГц.

В дальнейшем предполагается, что число каналов в системах CWDM будет более 40, а в системах DWDM – более 200.

Характеристики PON

Пассивные оптические сети PON базируются на трех сетевых топологиях FTTH, FTTB, FTTC

FTTH (Fiber to the Home) – волокно до квартиры

FTTB (Fiber to the Building) – волокно до здания

FTTC (Fiber to the Curb) – волокно до квартала или группы домов

Общей характеристикой сетей PON является отсутствие активных компонентов в распределительной сети

Единственный активный компонент это оптический линейный терминал OLT, расположенный в центральном офисе (CO),

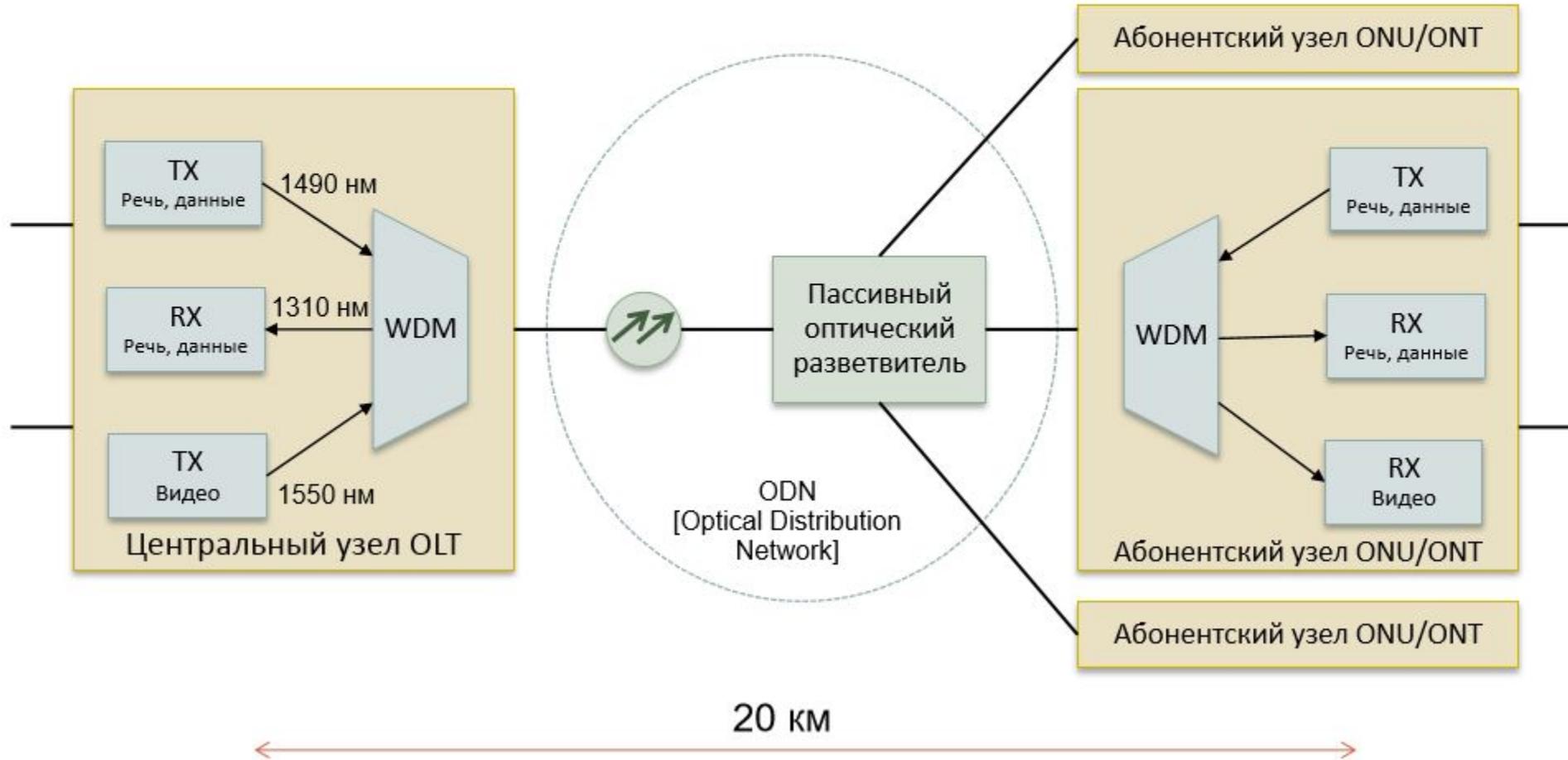
На стороне пользователя устанавливаются оптические абонентские терминалы ONT или оптические сетевые терминалы ONU, которые подключаются через пассивные оптические разветвители сигналов (passive optical splitter)

ONT предназначены для использования отдельным конечным пользователем. Устройства ONU обычно располагаются на цокольных этажах или в подвальных помещениях и используются совместно группой пользователей. Голосовые сервисы, а так- же услуги передачи данных и видео доводятся от ONU или ONT до абонента по кабелям, проложенным в помещении абонента.

Архитектура PON

Станционная сторона

Абонентская сторона

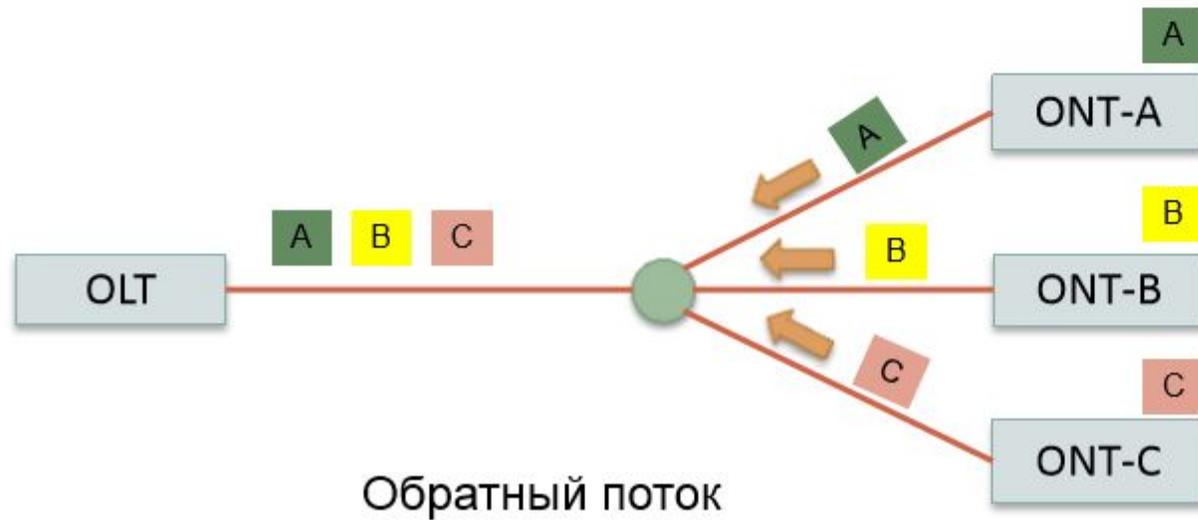
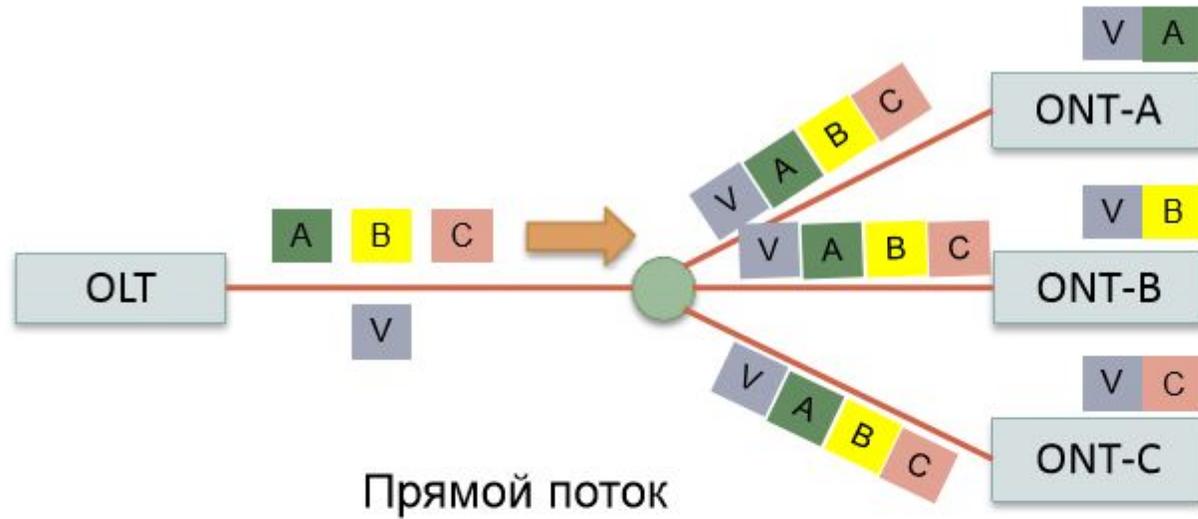


TDM-PON пассивных оптических сетей, базирующихся на мультиплексировании с временным разделением каналов

Данные от сети пользователю передаются по принципу рассылки, а в направлении от пользователя в сеть, по принципу множественного доступа, TDMA (Time Division Multiple Access).

Общая полоса пропускания, которая связывает OLT и ONU, разделяется между конечными пользователями. От количества пользователей зависит скорость передачи (не определен верхний предел пользователей). Тем не менее, практическое ограничение на количество конечных пользователей, это максимальная задержка в доступе (access delay). Соответственно, количество конечных пользователей на один делитель не превышает 64.

Механизм TDM-PON



На физическом и канальном уровнях широкополосная передача

Все узлы ведут передачу на одной длине волны, для разделения используется временное разделение каналов (TDMA).

Типы TDM-PON

В зависимости от механизма, используемого для передачи данных по оптическим волокнам, определяется несколько типов системы TDM-PON, остановимся на нескольких подробнее

	EPON	BPON	GPON
Стандарт	IEEE 802.3ah	ITU-T G.983	ITU-T G.984
Протокол	Ethernet	ATM	Ethernet, TDM
Скорости (Мбит/с)	1000, нисходящее и восходящее	622 нисходящее 155 восходящее	2488 нисходящее, 1244 восходящее
Расстояние (км)	10	20	20
Коэффициент распределения	16 или 32	32	32 или 64

Недостатки PON

Полоса пропускания делится между всеми пользователями

- падает скорость

- требуется шифрование

Вследствие использования общей передающей среды в пассивных оптических сетях PON каждое оконечное устройство (ONT или OLT) вынуждено работать со скоростью, равной совокупной скорости передачи данных.

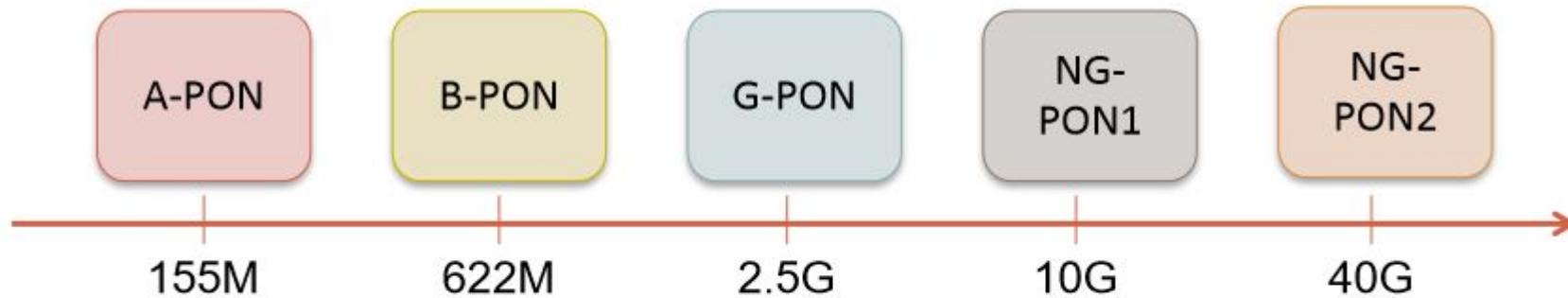
Для данной архитектуры необходима большая мощность лазера, поскольку энергетический потенциал линии связи уменьшается на 3,4 дБ при каждом разветвлении в соотношении 1:2.

Пассивные оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в центр управления сетью.

При повреждении точки терминации оптической сети (ONT) она может передавать в древо оптоволоконных линий постоянный световой сигнал, что приводит к нарушению связи для всех абонентов этой пассивной оптической сети, причем найти поврежденное устройство очень сложно.

Оборудование PON необходимо периодически обновлять за счет использования новой технологии, обеспечивающей большую полосу пропускания.

Следующие поколения PON



Базовые характеристики NG-PON2 (XLG-PON)

Поток вниз 40G

Поток вверх 10G

4 канала в каждом направлении

Совместим с G-PON, NG-PON1

Дальность 20км

Коэффициент распределения 1:64