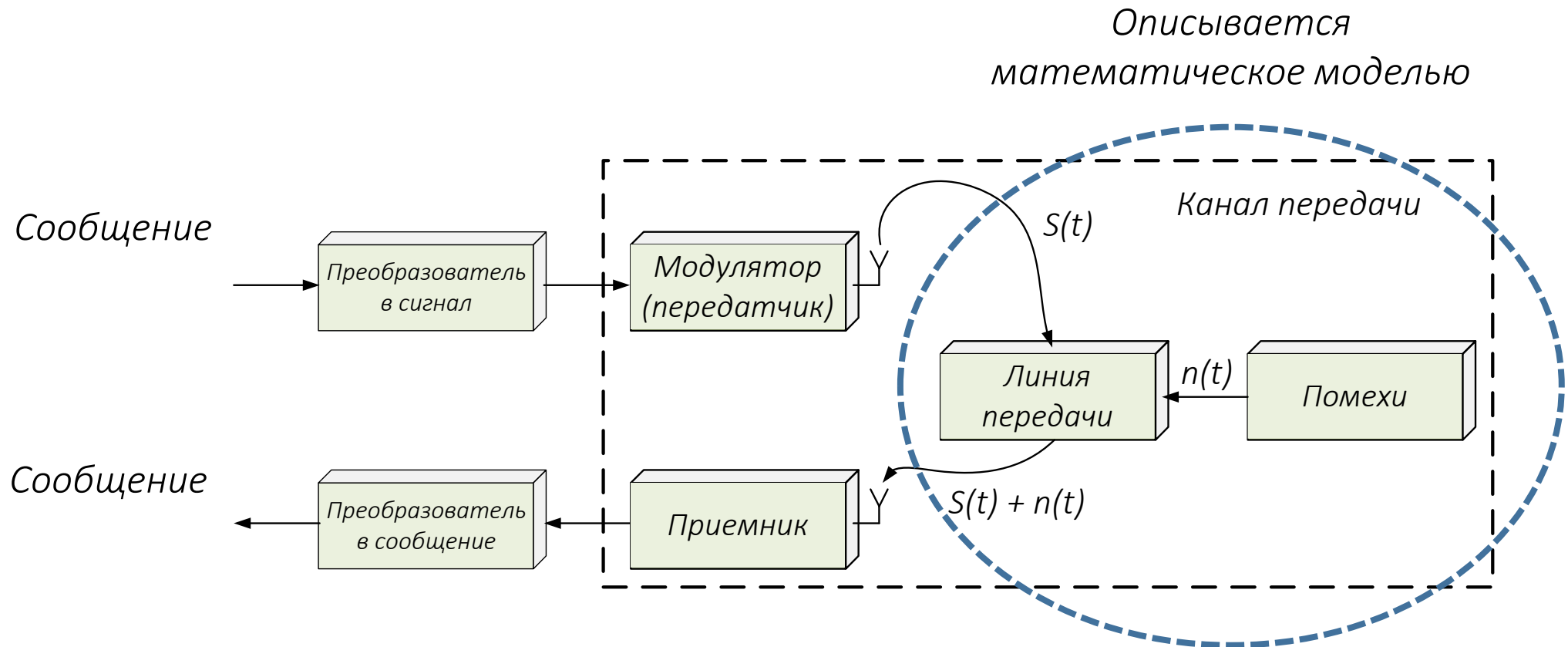


Моделирование канала передачи

*Крюков Яков Владимирович
к.т.н., доцент каф. ТОР, ТУСУР
Email: kryukov.tusur@gmail.com*

Канал передачи

Канал передачи – среда распространения радиоволн между передатчиком и приемником. Вносит самые большие искажения в сигнал и оказывает наибольшее влияние на передачу данных.



Каналы передачи и их свойства

Свойственно для любого канала передачи:

- 1) АБГШ
- 2) Затухание сигнала
- 3) Нелинейность
- 4) Межканальная интерференция

Свойственно для проводного канала:

- 1) Наводки из соседних каналов
- 2) Повреждение линии

Свойственно для беспроводного канала:

- 1) Многолучевость
- 2) Эффект Доплера

Системные искажения:

- 1) Ошибка частотной синхронизации
- 2) Ошибка временной синхронизации
- 3) Ошибка дискретизации

Проводные каналы (телефон)
Кабельные каналы (витая пара)
Коаксиальный кабель
Оптическое волокно
Радиорелейные каналы
Спутниковые каналы
Канал сотовой связи



$$Y = F(X)$$

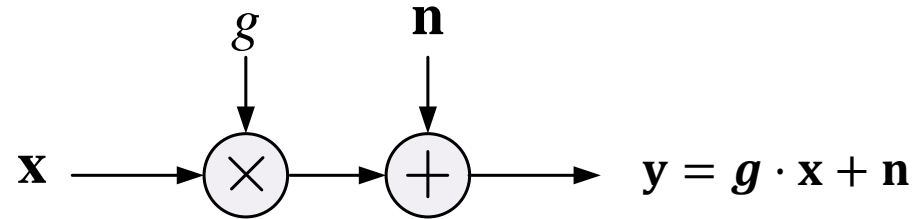
Математическое описание канала точка-точка

- Входные данные:

\mathbf{x} – переданный сигнал

\mathbf{g} – канальный коэффициент

\mathbf{n} – шум



Модель канала точка-точка

- Модель канала точка-точка для передачи на частоте f во временной интервал t

Составляющие: 1) Аддитивная помеха \mathbf{n}

2) Мультипликативная помеха \mathbf{g}

- Аддитивная помеха, это когда итоговый сигнал \mathbf{y} является результатом сложения изначального сигнала \mathbf{x} и помехи \mathbf{n} .
- Мультипликативная помеха, это когда итоговый сигнал \mathbf{y} является результатом перемножения изначального сигнала \mathbf{x} и канального коэффициента \mathbf{g} .

Аддитивная помеха

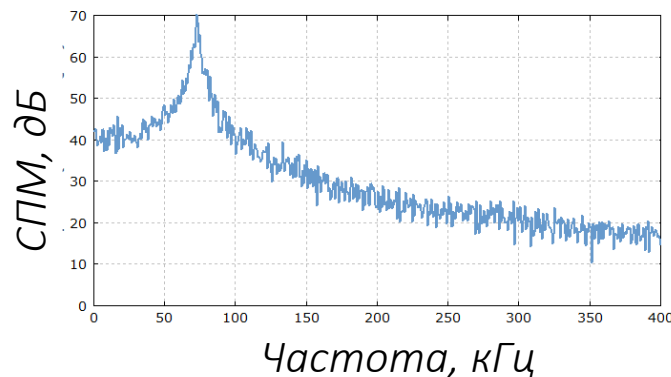
- Аддитивная помеха, это когда итоговый сигнал \mathbf{y} является результатом сложения изначального сигнала \mathbf{x} и помехи \mathbf{n} . Процесс описывается выражением:

$$\mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{n}$$

Комплексные переменные

- Причины возникновения \mathbf{n} :

- 1) Белый Гауссов шум (АБГШ)
- 2) Полосовой шум
- 3) Межканальная помеха
- 4) Импульсная помеха
- 5) Индустриальная помеха



- Шум $\mathbf{n}(N_0, \Delta f)$ характеризуется мощностью N_0 и полосой Δf

АБГШ: $\mathbf{n}(N_0 = \text{const}, \Delta f = \infty)$

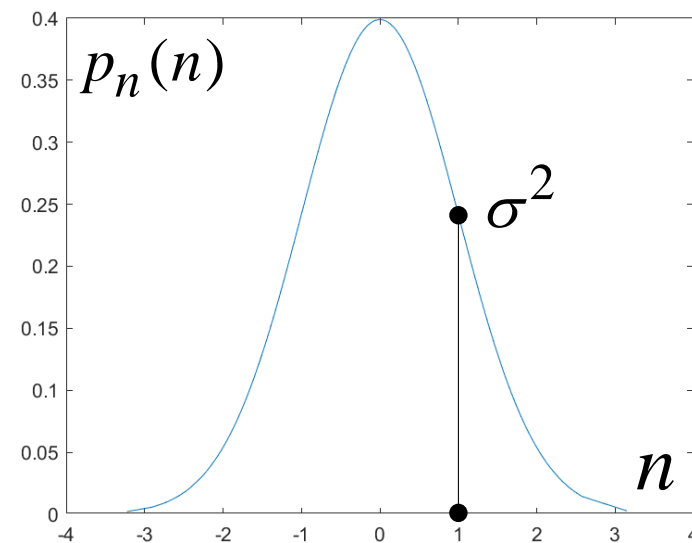
Остальные: $\mathbf{n}(N_0 \neq \text{const}, \Delta f \neq \infty)$

$$n \sim \text{CN}(M, N_0)$$

Закон РВ
Мат. ожидание
Сред. мощность

$$N_0 = \sigma^2$$

$$\mathbf{n} \sim N(0,1)$$



Плотность распределения вероятности

Мультипликативная помеха

- Мультипликативная помеха, это когда итоговый сигнал y является результатом перемножения изначального сигнала x и канального коэффициента g . Процесс описывается выражением:

$$y = g \cdot x$$

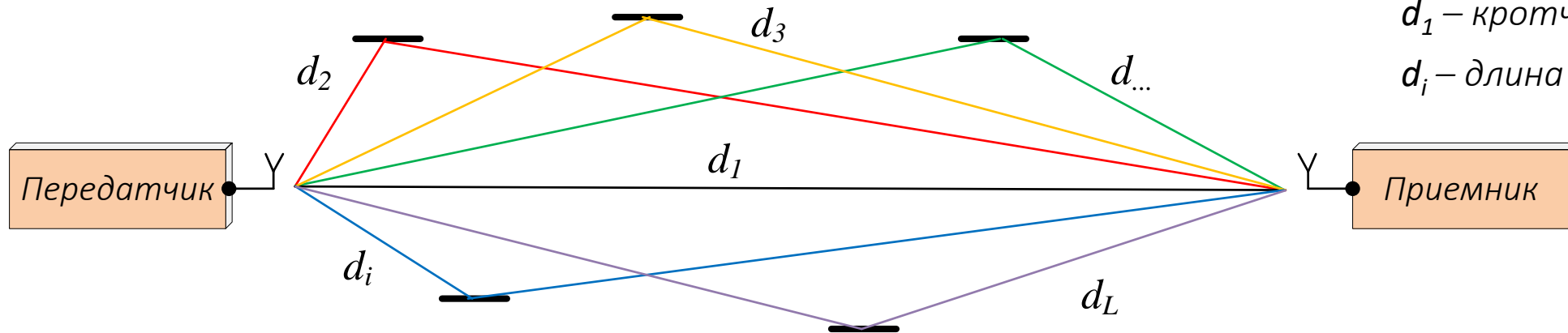
Разность фаз:

$$\varphi_i = 2\pi \frac{d_i - d_1}{\lambda}$$

λ – длина волны

d_1 – кратчайший путь

d_i – длина i -го пути



- Канальный коэффициент многолучевого канала:

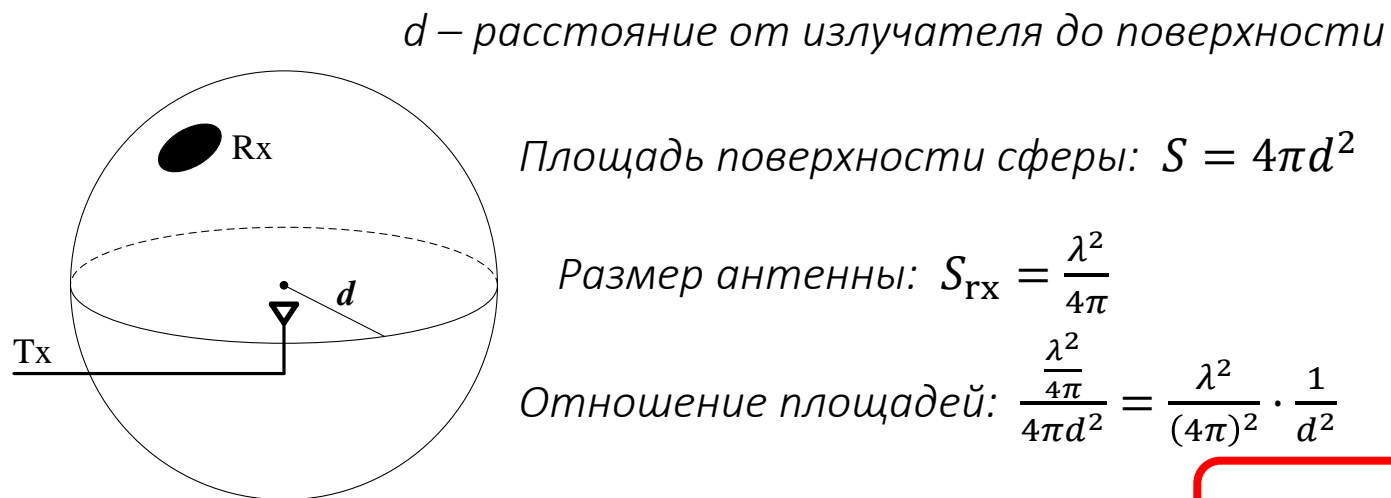
L – количество путей

α_i – затухание амплитуды сигнала на i -м пути

$$g = \sum_{i=1}^L \alpha_i e^{-j\varphi_i}$$

Затухание сигнала

- Причины возникновения α – естественное ослабление сигнала в пространстве.

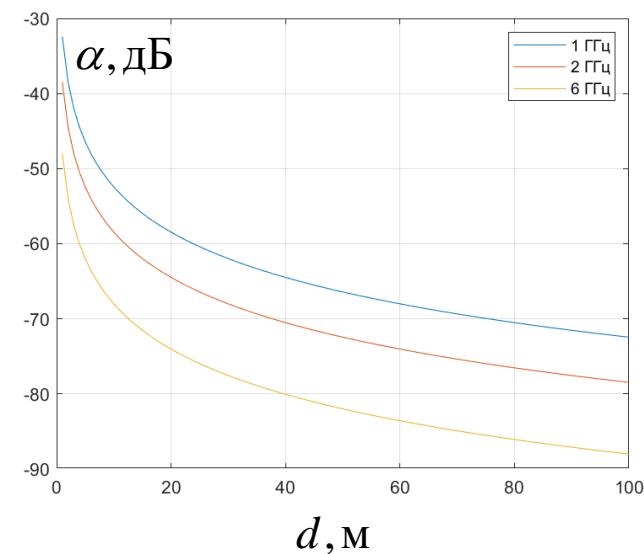


Ослабление по амплитуде [в разax]:

$$\alpha = X \frac{c}{4\pi d f}$$

Ослабление по мощности [в разax]: $|\alpha^2|$

X – коэффициент ослабления среды распространения



Коэффициент ослабления среды

- Коэффициент, показывающий во сколько раз уменьшилась мощность сигнала определенной частоты f при прохождении им какой-либо среды или вещества.

$$X(f) = \frac{P_1(f)}{P_2(f)} \quad [\text{разы или дБ}]$$

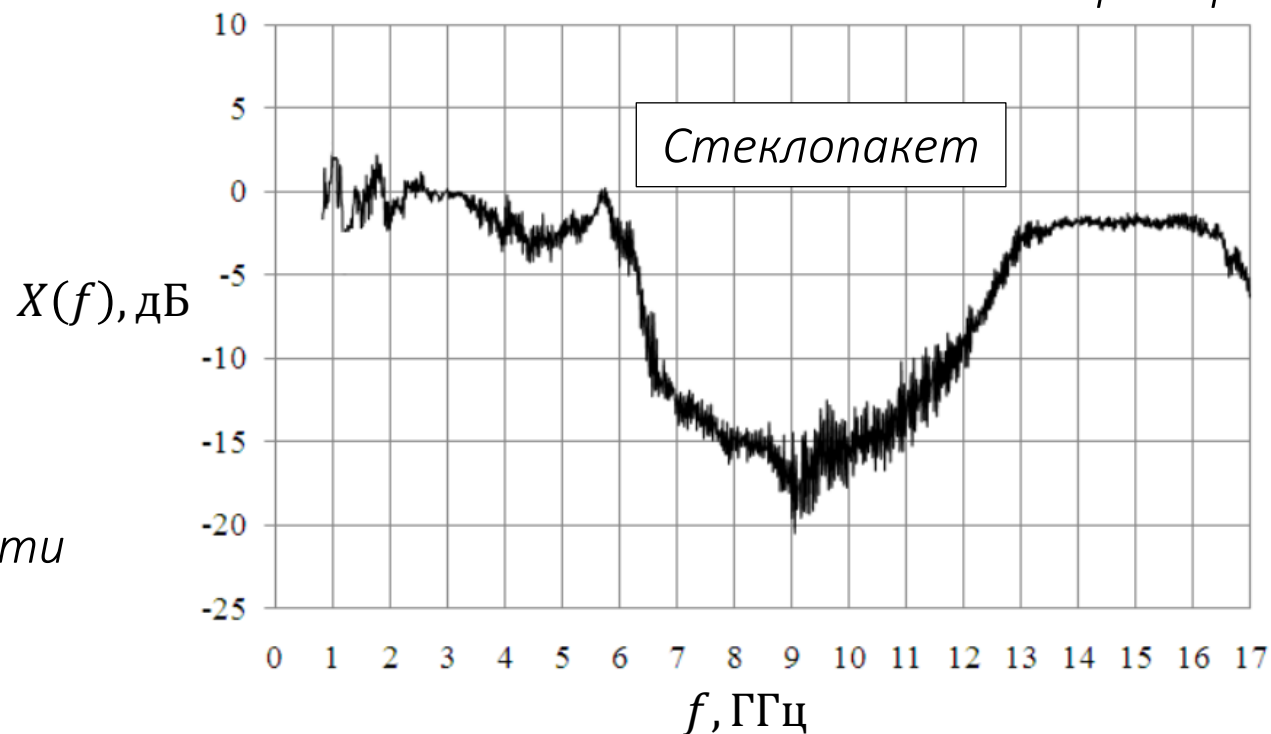
$P_1(f)$ - мощность сигнала на выходе среды

$P_2(f)$ - мощность сигнала на входе среды

- В каждой системе связи свои особенности среды распространения.

- Тропосфера, стены, деревья, земля, вода, воздух, металлические конструкции, люди, осадки, горы, корпуса, ткань и т.д. и т.п.

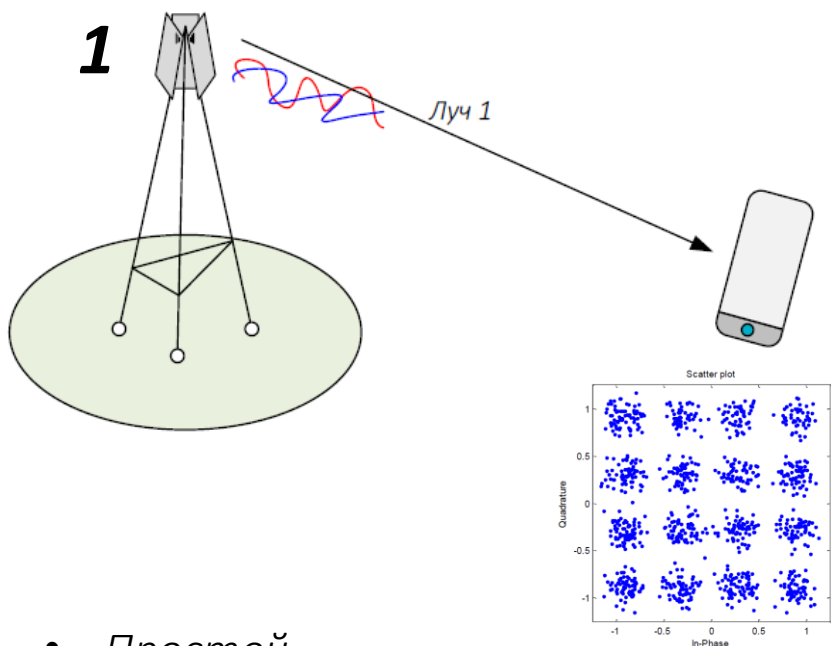
Пример



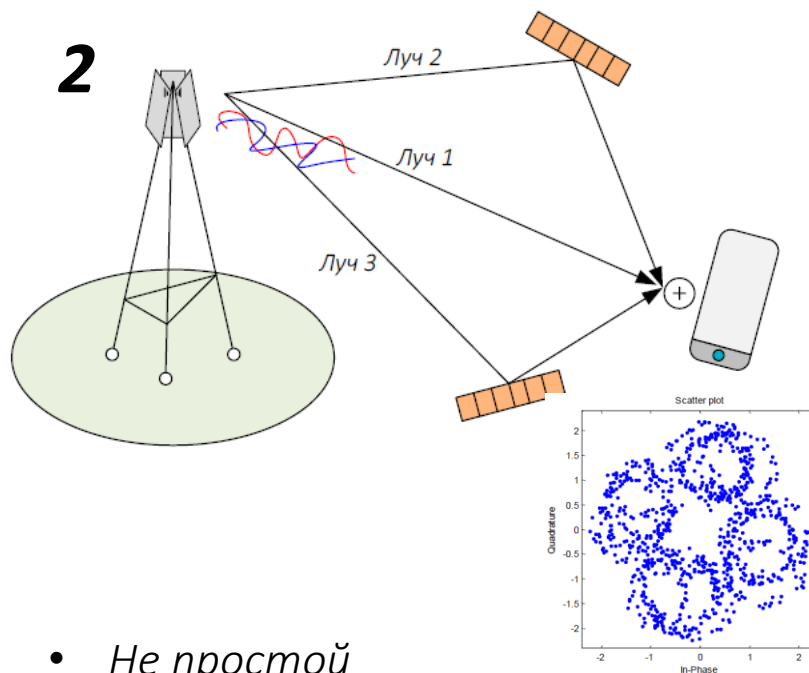
Модели многолучевых каналов

- Модели каналов распространения:

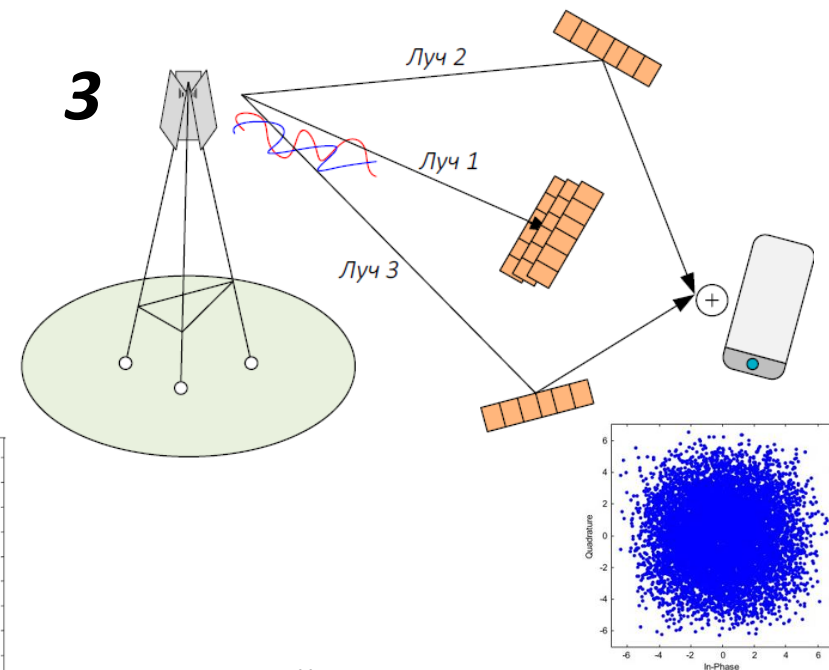
1. Модель Гаусса (один луч)
2. Модель Релея (много лучей)
3. Модель Райса (много лучей без прямого луча)



- Простой
- АБГШ + ослабление
- Спутники и сельская местность



- Не простой
- АБГШ + ослабление + част. замир.
- Городская застройка

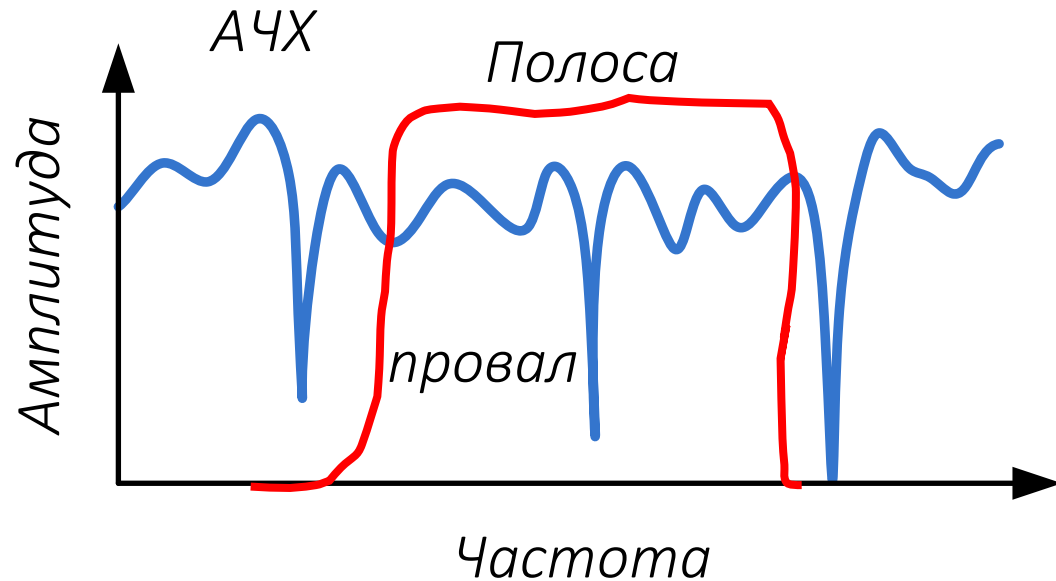


- Сложный
- АБГШ + ослабление + част. замир.
- Городская застройка

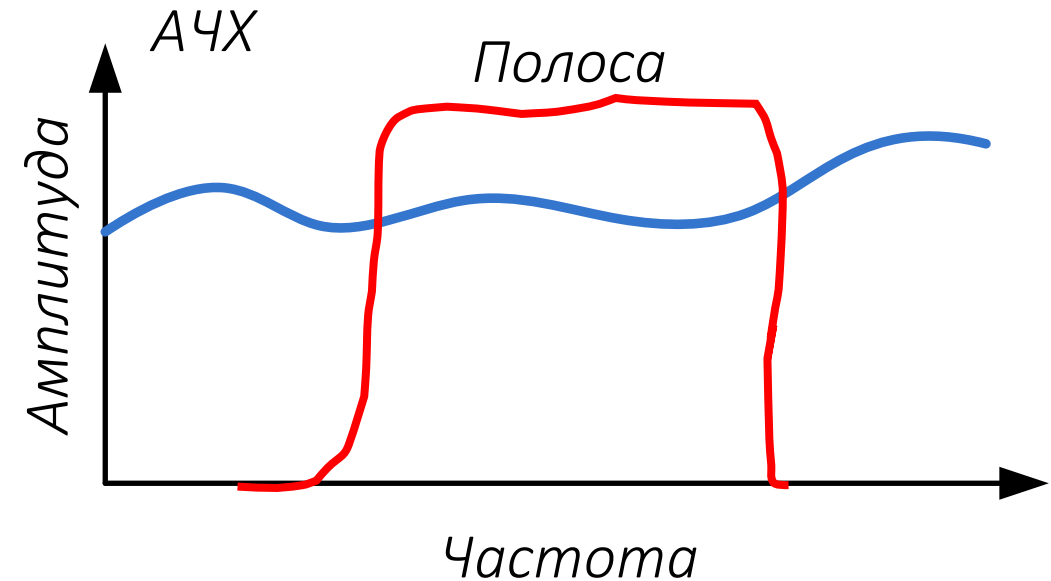
Частотно-селективные замирания

- Замирания – изменение амплитуды/фазы сигнала из-за многолучевости.
- При передаче широкополосного сигнала, эффект многолучеости проявляется неодинаково в полосе сигнала. Поэтому, на определенных частотах сигнала могут быть существенные провалы АЧХ.

Канал с сильными замираниями



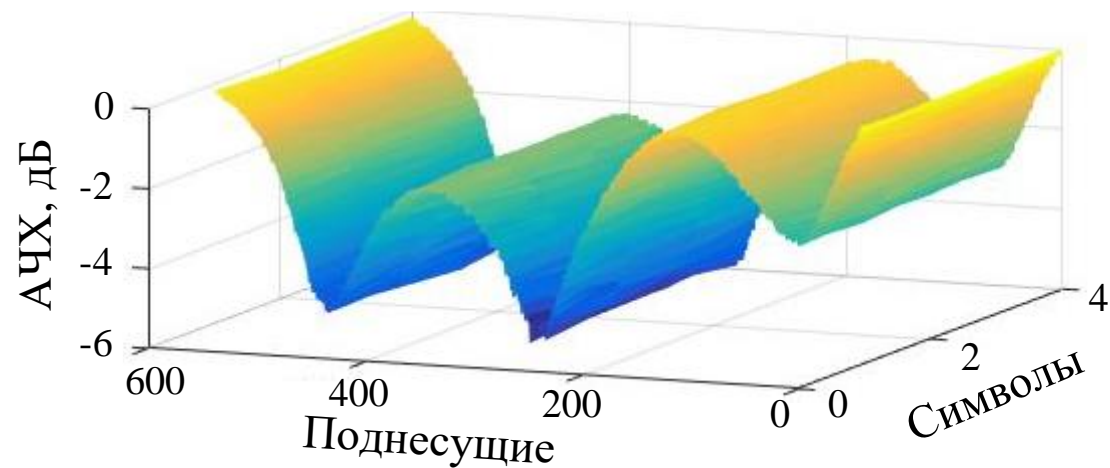
“Плоский” канал



Реальный канал

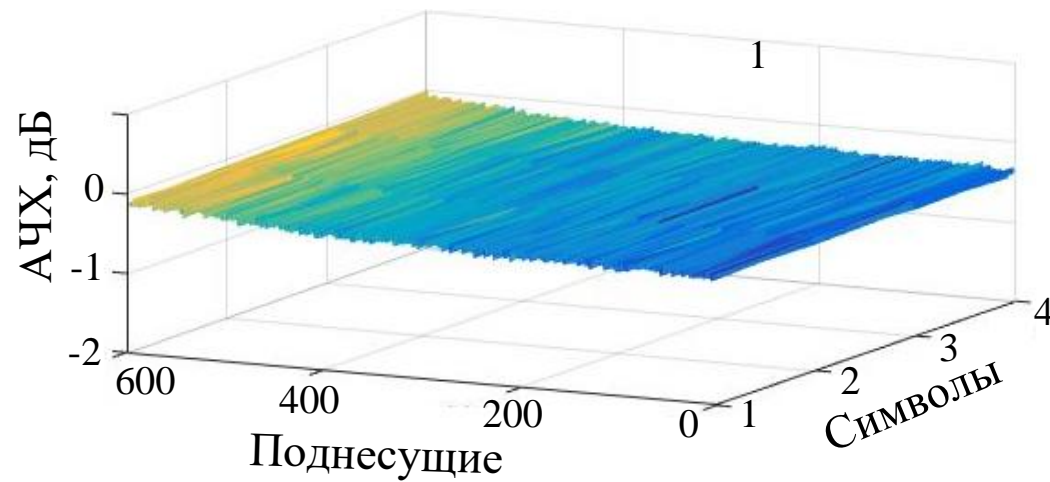
- Измерения реального канала передачи. Полоса сигнала 20 МГц.

Частотно-селективные замирания



Прямая видимость (коридор)

Плоский канал



Прямая видимость (аудитория)

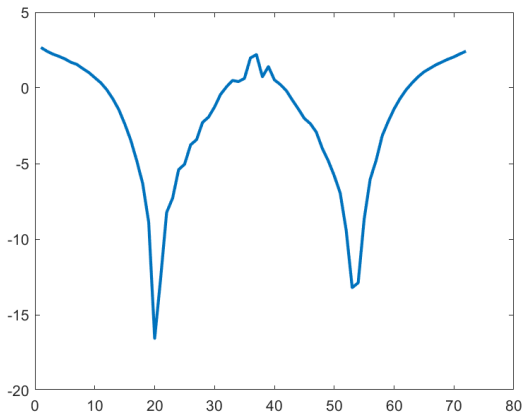
Конфигурация многолучевой модели

- Рекомендации моделей многолучевых каналов передачи, разработанные союзом электросвязи. Применяются для моделирования мобильных систем связи (4G LTE, 5G NR).

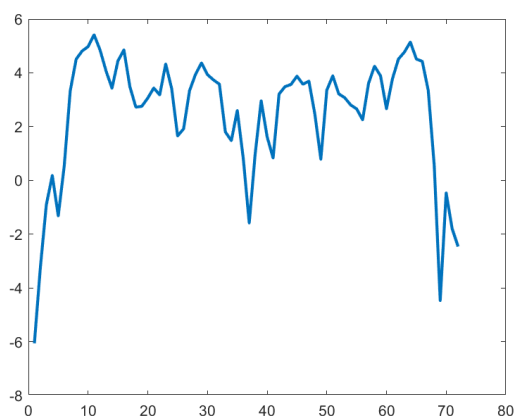
Типы каналов:

- EPA (Pedestrian) – модель пешехода.
- EVA (Vehicular) – модель автомобиля.
- ETU (Typical Urban) – городская застройка.

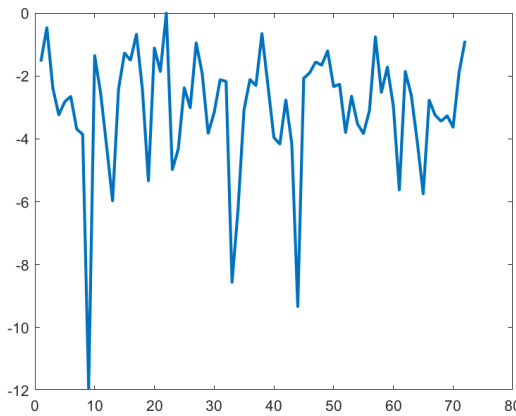
АЧХ EPA



АЧХ EVA



АЧХ ETU



L	EPA		EVA		ETU	
	τ , нс	α , дБ	τ , нс	α , дБ	τ , нс	α , дБ
1	0	0.0	0	0.0	0	-1.0
2	30	-1.0	30	-1.5	50	-1.0
3	70	-2.0	150	-1.4	120	-1.0
4	90	-3.0	310	-3.6	200	0.0
5	110	-8.0	370	-0.6	230	0.0
6	190	-17.2	710	-9.1	500	0.0
7	410	-20.8	1090	-7.0	1600	-3.0
8	-	-	1730	-12	2300	-5.0
9	-	-	2510	-16.9	5000	-7.0

Параметры

Эффект Доплера

- Изменение изначальной частоты сигнала f_0 , воспринимаемое приемником, вследствие движения передатчика или приемника. Процесс описывается выражением:

f_0 – изначальная частота,

v – скорость передатчика(приемника),

c – скорость света,

β – угол между направлением на источник и вектором скорости в системе отсчета приемника.

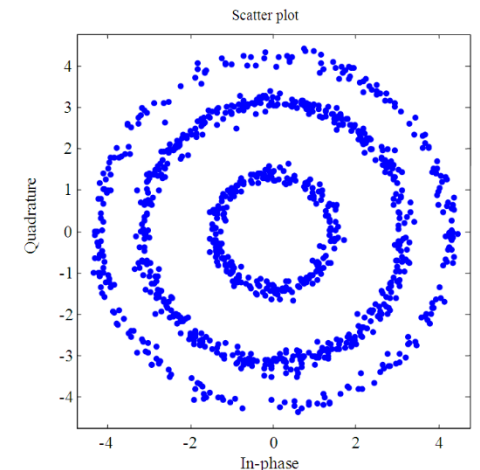
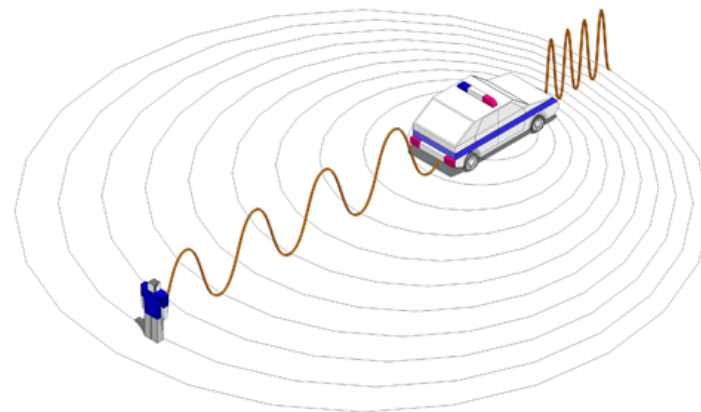
$$\Delta f = f_0 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos \beta}$$

$$y(t) = x(t) \cdot e^{-j2\pi\Delta f t}$$

- Сигнал $y(t)$ после смещения частоты сигнала $x(t)$ на Δf :

- Причины возникновения:

- 1) Передвижение абонента
- 2) Передвижение БС
- 3) Отражение от движущегося объекта



Искажение сигнала



$$y(t) = g(t)x(t) \cdot e^{-j2\pi\Delta f t} + n$$

$$g = \sum_{i=1}^L \alpha_i e^{-j\varphi_i(t)}$$

$$\varphi_i = 2\pi \frac{d_i - d_1}{\lambda}$$

$$\Delta f = f_0 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos\beta}$$

многолучевость

Доплеровское рассеяние

шум

$$n \sim CN(M, N_0)$$