

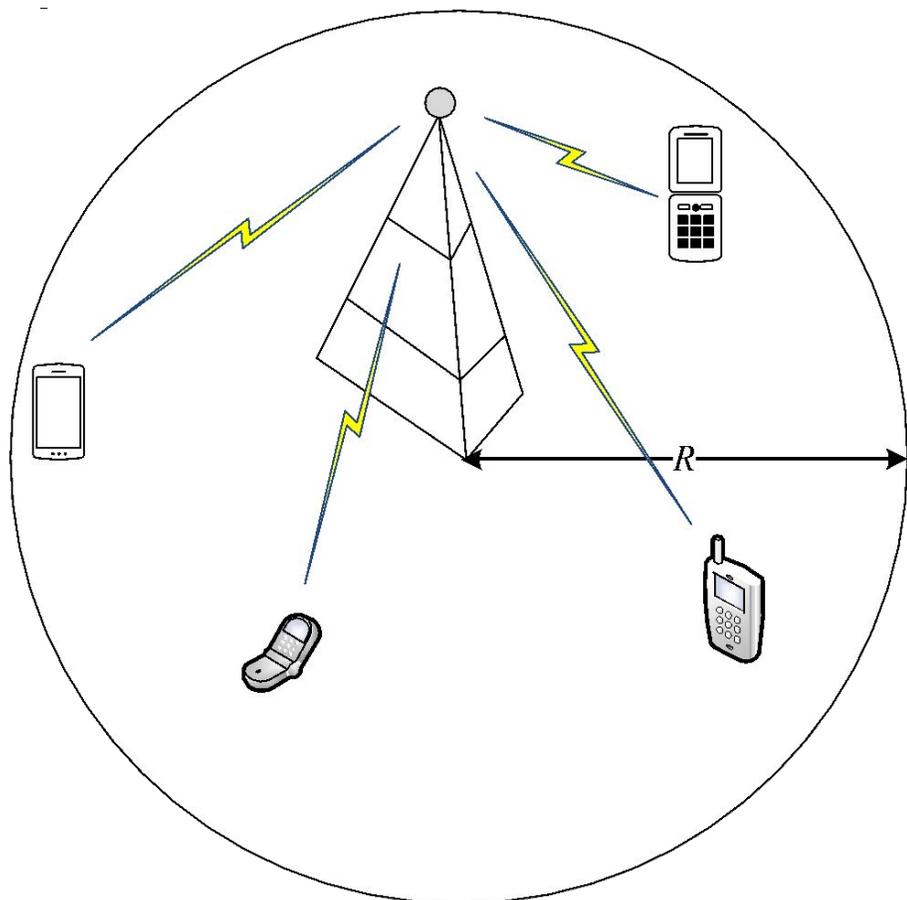
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

# Вычислительные системы, сети и телекоммуникации

Апанасенко Н. В.

Санкт-Петербург  
2022 г

Рассмотрим беспроводную систему передачи данных, состоящую из одной базовой станции (БС), расположенной в центре окружности радиусом  $R$  и  $N$  абонентов (АБ) равномерно распределенных (рассредоточенных) вокруг базовой станции БС.



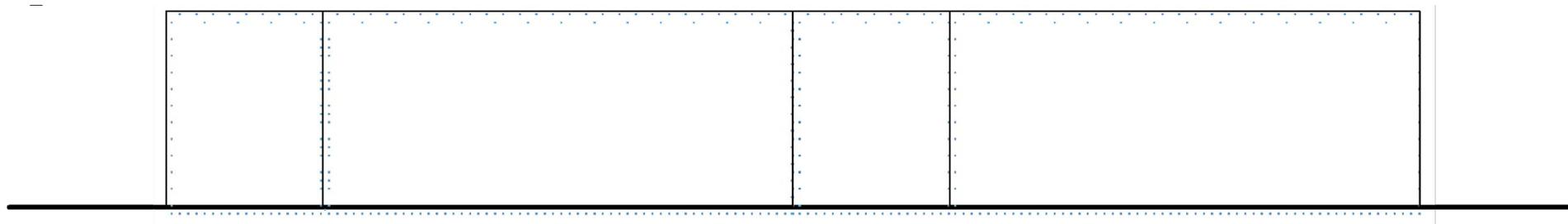
Все абоненты являются пользователем сети интернет, которые скачивают информацию. Постоянно происходит передача информации от базовой станции ко всем абонентам.

Мощность $P_{TX}$	Тип	Частота, $f_0$	Полоса, $\Delta f$
1-5 кВт	Радио	80-150 МГц	15 кГц
1-100 кВт	TV	200-800 МГц	6 МГц
50-100 Вт	GSM	90 МГц, 1800 МГц, 2100 МГц	90-10 МГц
10-100 мВт	BT, Wi-Fi	2,4 ГГц, 5,6 ГГц	20/ 40 МГц
1-5 кВт	Сигнализация	443 МГц, 866 МГц, 915 МГц	90-100 кГц
10 мВт – 1Вт	LTE	GSM+2 кГц	1.5/3/5/10/20/40/80 МГц

**Восходящий поток или Up-going link (UL)** – направление передачи данных от абонентов к базовой станции.

**Нисходящий поток или Down-going link (DL)** – направление передачи данных от базовой станции к абонентам. Основная нагрузка на сеть – это DL. Примерно 95% трафика в сети.

Наиболее распространенный режим взаимодействия БС с пользователями – это режим **TDD (Time division duplex)** – разделение потоков по времени.



DL>>UL



Один из основных параметров, который использует «планировщик ресурсов» для выбора АБ, которому будет осуществляться передача данных является **CQI – Channel Quality Indicator** или качество соединения.

$CQI_i \rightarrow C_i$  – определяется как максимально достижимая скорость в канале связи, между БС и АБ с индексом  $i$ .

**Максимальная пропускная способность** канала связи  $C$  (**Channel Capacity**):

$$C_i = \Delta f \log_2 (1 + SNR_i),$$

где  $\Delta f$  – **полоса пропускания канала связи**,  $SNR_i$  – **отношение сигнал/шум** (Signal-to-Noise Ratio, SNR) у абонента с индексом  $i \in \overline{1, N}$ .

**Отношение сигнал/шум** безразмерная величина, равная отношению мощности полезного (принятого) сигнала  $P_{RX}$  к мощности теплового шума  $P_N$  :

$$SNR = \frac{P_{RX}}{P_N}.$$

**Мощность теплового шума** определяется следующим выражением:

$$P_N = \Delta f \cdot T \cdot k \cdot k_N,$$

здесь  $T$  – абсолютная температура (К),  $k$  – постоянная Больцмана ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К) )  
 $k_N$  – коэффициент теплового шума приемника.

**Принятая мощность сигнала** определяется как:

$$P_{RX} = \frac{P_{TX}}{L}.$$

$P_{TX}$  – излучаемая мощность БС,  $L$  – потери мощности (затухание) при распространении сигнала от БС до АБ.

# Модели распространения сигнала

Существуют эмпирические и теоретические (расчетные) модели распространения сигнала.

1. **Статистические модели** – базирующиеся на результатах экспериментальных исследований. **Модель Хаты (Окамура-Хаты)**, модель COST 231-Хаты, модель Кся-Бертони, модель Уолфиша-Икегами, рекомендации ETSI, **модель ITU** и другие.

2. **Теоретические** – оценивают уровень принимаемого сигнала основе идеализированной модели.

# Модель Окамура-Хаты

В рамках **Окамура-Хаты** модели потери  $L$  выраженные в **дВ** для городской среде рассчитывается следующим образом:

$$L_{dB} = 46,3 + 33,9 \times \lg f_0 - 13,82 \times \lg h_{BC} - a(h_{RX}) + [44,9 - 6,55 \times \lg h_{RX}] \lg d + S,$$

где  $f_0$  - частота (МГц),  $h_{BC}$  - высота базовой станции (м),  $h_{RX}$  - высота точки приема (м),  $d$  - расстояние от АБ до БС (км),

$$a(h_{RX}) = (1,1 \cdot \lg f_0 - 0,7) h_{RX} - (1,56 \cdot \lg f_0 - 0,8), \quad S = \begin{cases} 0, & \text{маленький город} \\ 3, & \text{большой город} \end{cases}$$

**Перевод в «разы»:**  $L = 10^{L_{dB}/10}$

## Модель Indoor Propagation Model (или ITU)

В рамках ITU модели потери  $L$  выраженные в **дВ** для офисных помещений, рассчитывается следующим образом:

$$L_{dB} = 20 \lg f_0 + K \cdot \lg d + P_f(n) - 28,$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от типа помещения,

$P_f(\bar{n})$  параметр, определяющий кол-во препятствий на пути распространения сигнала, принять равным нулю,  $K$  – принять равным 29.

**Перевод в «разы»:**  $L = 10^{L_{dB}/10}$

## Вид функции потерь.

