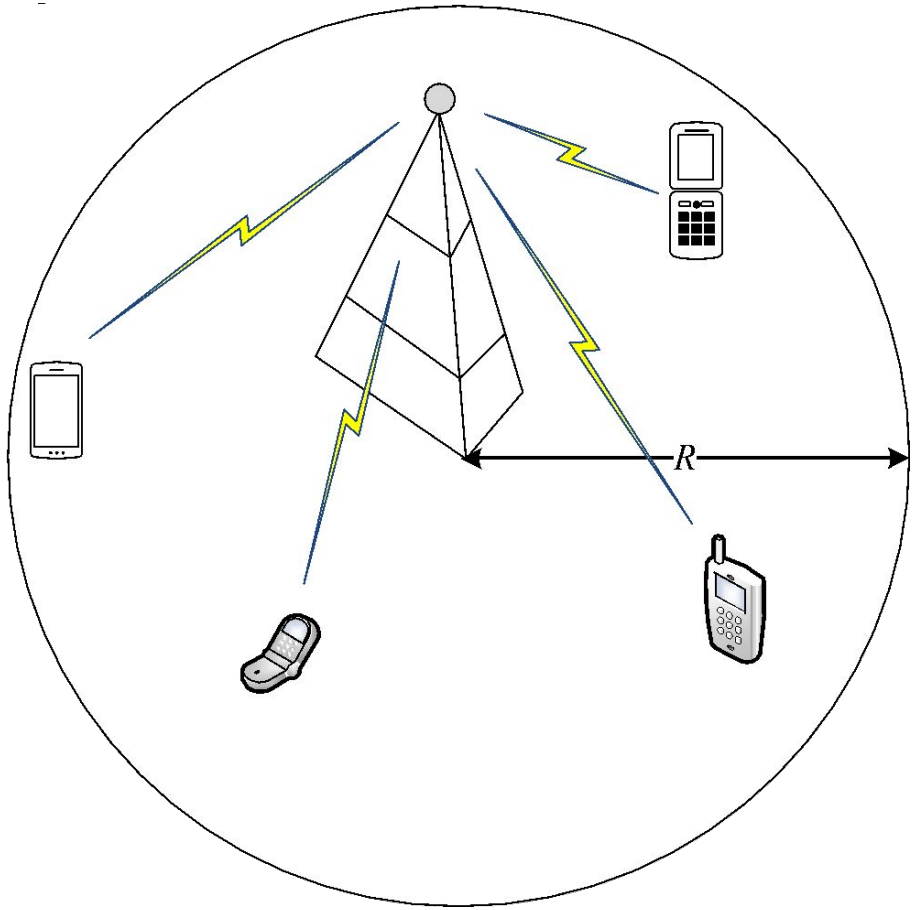
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

# 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.



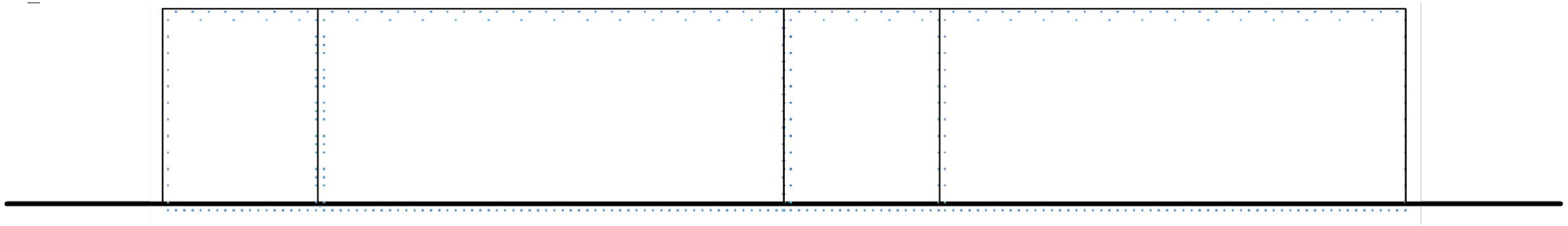

Все абоненты являются пользователем сети интернет, которые скачивают информацию. Постоянно происходит передача информации от базовой станции ко всем абонентам.

| 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 |

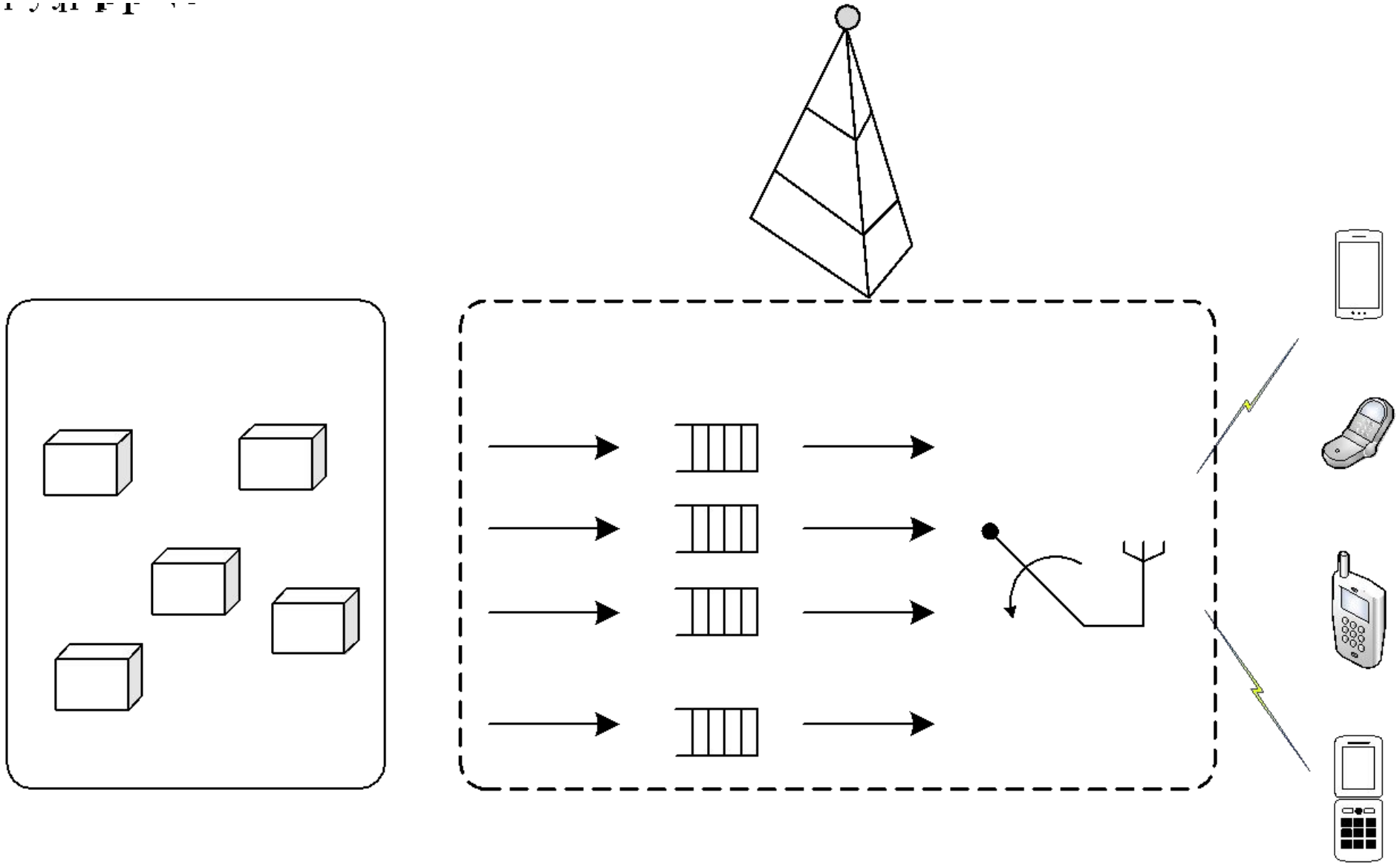
**Восходящий поток или Up-going link (UL)** – направление передачи данных от абонентов к базовой станции.

**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



Работа планировщика **заключается** в том, чтобы поочередно (или в какой-то последовательности) обслуживать буферы.

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**):

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

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 $\left(1{,}38 \times 10^{-23}\ \text{Дж/К}\right)$
$k_N$ – 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 dB** для городской среде рассчитывается следующим образом:

$$\mathbf{L_{dB} = 46,3 + 33.9 \times \lg f_0 - 13.82 \times \lg h_{БС} - a(h_{RX}) + [44.9 - 6.55 \times \lg h_{RX}] \lg d + S,}$$

где $f_0$ - частота (МГц), $h_{БС}$ - 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»:** $L = 10^{L_{dB}/10}$

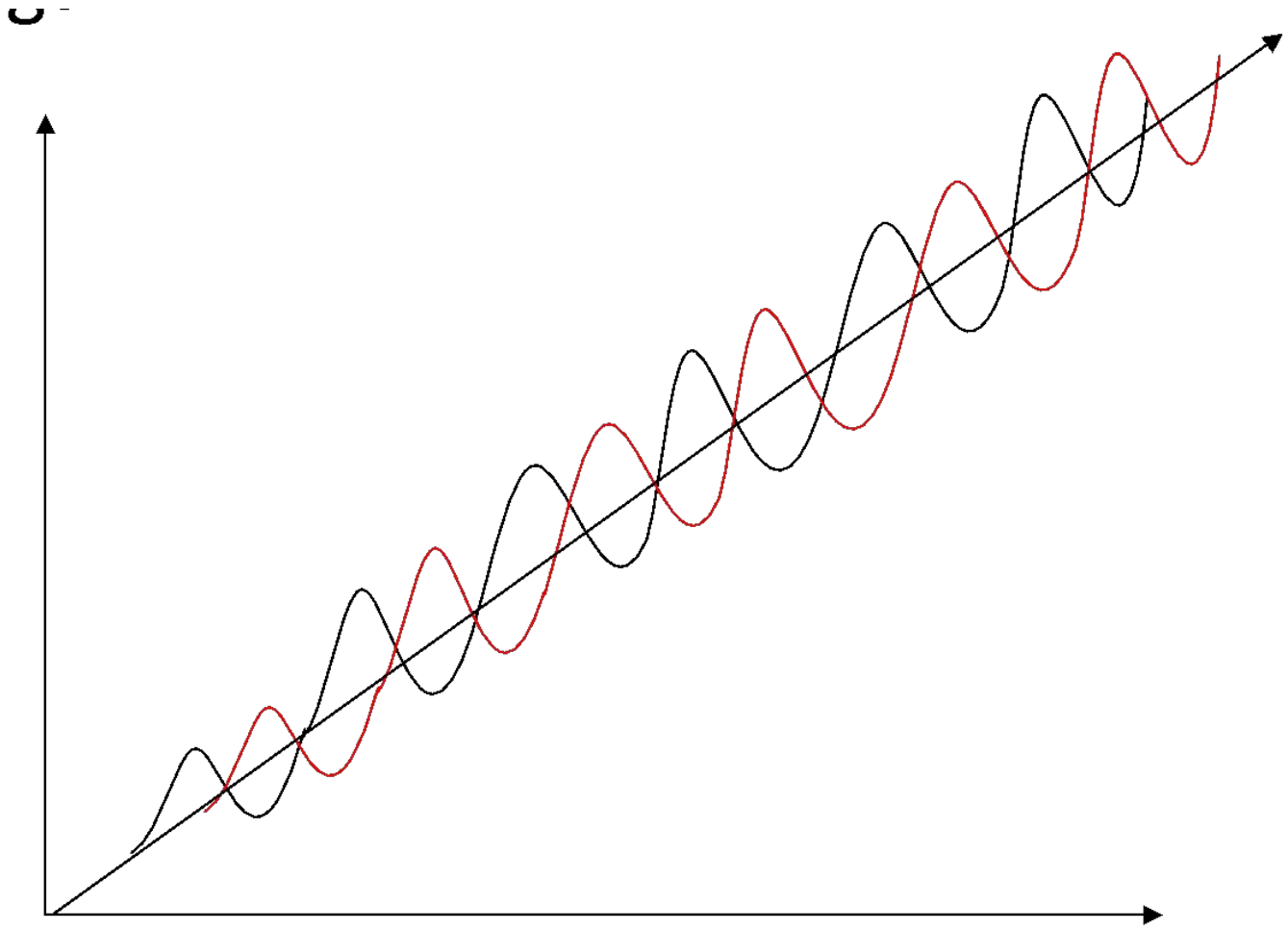
# Модель Indoor Propagation Model (или ITU)

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

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

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.