

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и
информатики»

Лабораторная №2

«Проектирование радиопокрытия мобильных сетей. Модели
распространения сигналов. Бюджеты каналов.»

Выполнил: Студент группы ИА-231 Зырянов Иван

«___» _____ 2024г.

Новосибирск 2024

Оглавление

Цель работы.....	3
Задачи	3
Краткие теоретические сведения.....	3
Исходные данные	9
Выполнение лабораторной работы.....	10
Контрольные вопросы	11
Приложение	16

Цель работы

Получить представление о том, как проектируется покрытие сетей мобильной связи и, научиться рассчитывать радиус действия (радиопокрытие) отдельных базовых станций БС (сот).

Задачи

1. Изучить основные модели распространения радиосигналов.
2. Освоить методику расчета бюджетов восходящего и нисходящего каналов.
3. Рассчитать радиус действия базовой станции для заданных условий.
4. Определить количество базовых станций, необходимое для покрытия заданной территории.

Краткие теоретические сведения

радиус соты - Предельное расстояние, на котором возможна успешная передача данных между пользователями и базовой станцией называется

Радиус соты зависит от:

- мощности передатчика;
- несущей частоты сигнала;
- коэффициента усиления приемной и передающей антенн;
- чувствительности приемника;
- величины помех на пути распространения и пр.

Мощность сигнала, передаваемого БС, уменьшается по мере удаления от нее. Потери мощности сигнала (Path Loss, PL) обусловлены:

- Расстоянием: Сигнал рассеивается в пространстве, его плотность энергии уменьшается.
- Препятствиями: Сигнал поглощается и отражается от зданий, деревьев, рельефа местности.
- Интерференцией: Наложение сигналов от других БС.

Математические модели-

1.FSPM (Free Space Propagation Model) - модель распространения сигнала в свободном пространстве

$$PL_{\text{разы}} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2$$
$$PL_{\text{дБ}} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi df}{c}\right)$$

d - расстояние между приемником и передатчиком

f – это частота сигнала

λ – длина волны.

2.UMiNLOS (Urban Micro Non-Line-of-Sight) - применяется в условиях размещения точек доступа/небольших сот в помещениях (Indoor).

Формула для расчета затуханий имеет вид (2.3):

$$PL(d) = 26 \cdot \log_{10}(f[\text{ГГц}]) + 22.7 + 36.7 \cdot \log_{10}(d[\text{м}]),$$

3. Окумура-Хата и ее модификация COST231 - является одной из наиболее часто используемых моделей при проектировании покрытия макросот, например, для сетей LTE.

Формула для расчета затуханий имеет вид (2.14):

$$PL(d) = A + B \cdot \log_{10}(f) - 13.82 \cdot \log_{10}(hBS) - a + s \cdot \log_{10}(d) + Lclutter, \quad (2.4)$$

где f – это несущая частота сигнала в МГц, d – расстояние между приемником и передатчиком в км, hBS – высота подвеса антенны БС, $Lclutter, A, B$ – константы (см. Таблица 2.1).

Табл. 2.1. Значения коэффициентов А и В для различных диапазонов частот.

Диапазоны частот, МГц	А	В
150-1500	69.55	26.16
1500-2000	46.3	33.9

Параметр a зависит от высоты антенны мобильной станции hms , от несущей частоты f , а также от типа местности (или клаттера) и определяется по формуле (2.5):

$$a(hms) = \begin{cases} 3.2 \cdot [\log_{10}(11.75 \cdot hms)]^2 - 4.97 & \text{для } DU \text{ и } U \\ [1.1 \cdot \log_{10}(f)] \cdot hms - [1.56 \cdot \log_{10}(f) - 0.8] & \text{для } SU, \text{RURAL, ROAD} \end{cases} \quad (2.5)$$

где DU – это Dense Urban (плотная городская застройка), U – urban (город), SU – suburban (пригород), RURAL – сельская местность, ROAD – трасса.

Последняя составляющая в выражении (2.4) – это $Lclutter$, зависящая от несущей частоты f и от типа местности, определяется как (2.6):

$$Lclutter = \begin{cases} 3 & \text{для } DU \\ 0 & \text{для } U \\ -\left(2 \cdot \left[\log_{10}\left(\frac{f}{28}\right)\right]^2 + 5.4\right) & \text{для } SU \\ -(4.78 \cdot [\log_{10}(f)]^2 - 18.33 \cdot \log_{10}(f) + 40.94) & \text{для } RURAL \\ -(4.78 \cdot [\log_{10}(f)]^2 - 18.33 \cdot \log_{10}(f) + 35.94) & \text{для } ROAD \end{cases}, \quad (2.6)$$

Составляющая s зависит от высоты базовой станции hBS , от несущей частоты f и от расстояния между абонентом и базовой станцией d и определяется как (2.7):

$$s = \begin{cases} 44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(f), & \text{для } d \geq 1 \text{ км} \\ (47.88 + 13.9 \cdot \log_{10}(f) - 13.9 \cdot \log_{10}(hBS)) \times \frac{1}{\log_{10}(50)}, & \text{для } d < 1 \text{ км} \end{cases} \quad (2.7)$$

4. **Walfish-Ikegami** - используется при проектировании покрытия макросот в условиях городской застройки с «манхэттенской» grid-образной архитектурой (рисунок 2.2). Формулы для расчета зависят от наличия или отсутствия прямой видимости (LOS/NLOS)

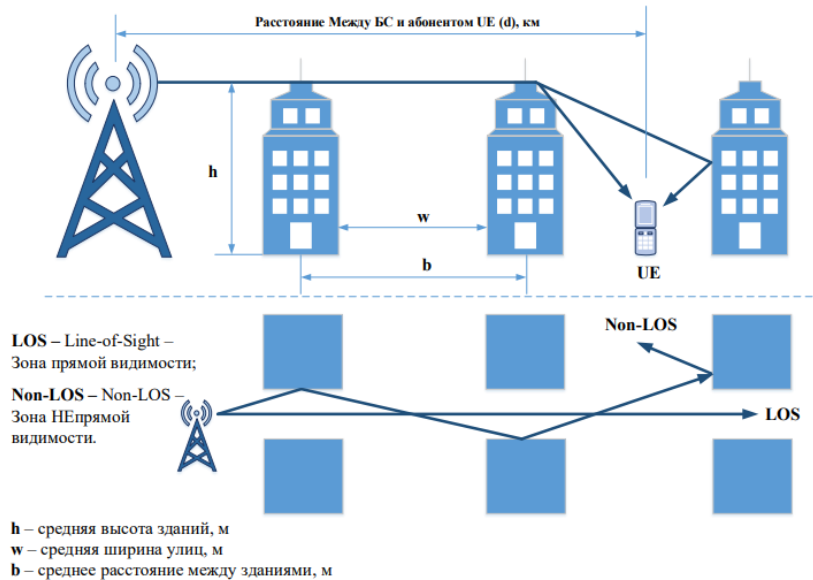


Рис. 2.2. Применение модели Walfish-Ikegami для расчета покрытия

Потери мощности радиосигнала, если абонент находится в зоне прямой видимости базовой станции (LOS) рассчитываются как (2.8):

$$L_{LOS} = 42.6 + 20\log_{10}(f) + 26\log_{10}(d). \quad (2.8)$$

При отсутствии прямой видимости между абонентом и BS, потери определяются как (2.9)-(2.16):

$$L_{NLOS} = \begin{cases} L_0 + L_1 + L_2, & \text{если } L_1 + L_2 > 0 \\ L_0, & \text{если } L_1 + L_2 \leq 0 \end{cases}, \quad (2.9)$$

где L_0 – потери сигнала в свободном пространстве, L_1 – потери сигнала за счет переотражений от стен зданий, L_2 – потери сигнала за счет переотражений от крыш зданий.

$$L_0 = 32.44 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d). \quad (2.10)$$

$$2 = -16.9 - 10\log_{10}(w) + 10\log_{10}(f) + 20\log_{10}(\Delta h - h_{ms}) + \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & 0 \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075\varphi & 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ, \\ 4.0 - 0.114\varphi & 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

(2.11)

где φ – средний угол между направлением распространения сигнала и улицей.

$$L_1 = L_{1_1} + k_a + k_d\log_{10}(d) + k_f\log_{10}(f) - 9\log_{10}(b). \quad (2.12)$$

$$L_{11} = \begin{cases} -18\log_{10}(1 + hBS - \Delta h), & \text{если } hBS > \Delta h \\ 0, & \text{если } hBS \leq \Delta h \end{cases} \quad (2.13)$$

$$k_a = \begin{cases} 54, & \text{если } hBS > \Delta h \\ 54 - 0.8(hBS - \Delta h), & \text{если } hBS \leq \Delta h \text{ и } d > 0.5 \\ 54 - 0.8(hBS - \Delta h) \cdot \frac{d}{0.5}, & \text{если } hBS \leq \Delta h \text{ и } d \leq 0.5 \end{cases} \quad (2.14)$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & \text{если } hBS > \Delta h \\ 18 - 15 \cdot \frac{hBS - \Delta h}{\Delta h}, & \text{если } hBS \leq \Delta h \end{cases} \quad (2.15)$$

$$k_f = -4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right). \quad (2.16)$$

Бюджет канала – это баланс между мощностью сигнала на выходе передатчика и минимально допустимой мощностью сигнала на входе приемника, при которой обеспечивается заданное качество связи.

Бюджет нисходящего канала

$$\text{TxPowerBS} - \text{FeederLoss} + \text{AntGainBS} + \text{MIMOGain} - \text{MAPL_DL} - \text{IM} - \text{PenetrationM} = \text{RxSensUE}.$$

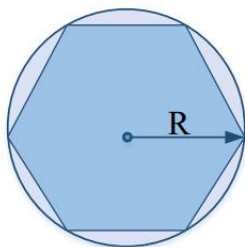
- TxPowerBS – Мощность передатчика базовой станции BS, дБм
- FeederLoss – Уровень потерь сигнала при прохождении через фидер или джампер, дБ
- AntGainBS – коэффициент усиления приемо-передающей антенны базовой станции, дБи
- MIMOGain – выигрыш за счет использования MIMO, дБ
- PL(d) – уровень потерь радиосигнала в зависимости от удаленности пользователя,
- определяемый моделью распространения сигнала, дБ
- IM – запас мощности на интерференцию (Interference Margin), дБ
- PenetrationM – запас сигнала на проникновение сквозь стены, дБ
- RxSensUser – чувствительность приемника пользователя, дБм

Бюджет восходящего канала

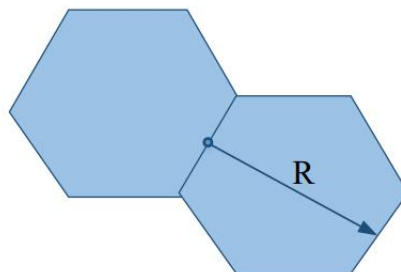
$$\text{TxPowerUE} - \text{FeederLoss} + \text{AntGainBS} + \text{MIMOGain} - \text{MAPL_UL} - \text{IM} - \text{PenetrationM} = \text{RxSensBS}.$$

- TxPowerUE – Мощность передатчика абонентской станции UE, дБм
- FeederLoss – Уровень потерь сигнала при прохождении через фидер или джампер, дБ
- AntGainBS – коэффициент усиления приемо-передающей антенны базовой станции, дБи
- MIMOGain – выигрыш за счет использования MIMO, дБ
- PL(d) – уровень потерь радиосигнала в зависимости от удаленности пользователя,
- определяемый моделью распространения сигнала, дБ
- IM – запас мощности на интерференцию (Interference Margin), дБ
- PenetrationM – запас сигнала на проникновение сквозь стены, дБ
- RxSensBS – чувствительность приемника BS, дБм

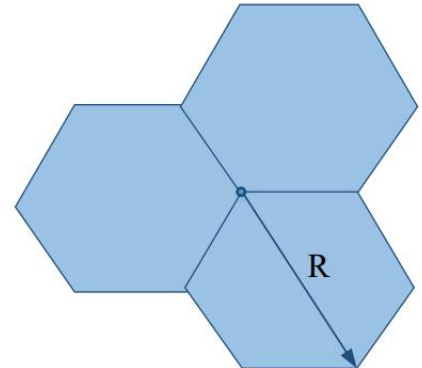
Определение площади сайта (базовой станции) в зависимости от числа сконфигурированных секторов:



6-секторная БС
 $S=2.6R^2$



2-секторная БС
 $S=1.73R^2$



3-секторная БС
 $S=1.95R^2$

Исходные данные

- Мощность передатчиков BS: 46 дБм;
 - Число секторов на одной BS: 3;
 - Мощность передатчика пользовательского терминала UE: 24 дБм;
 - Коэффициент усиления антенны BS: 21 дБи;
 - Запас мощности сигнала на проникновения сквозь стены: 15 дБ;
 - Запас мощности сигнала на интерференцию: 1 дБ;
 - Модель распространения сигнала для макросот: COST 231 Hata;
 - Модель распространения сигнала для фемто- и микросот: UMiNLOS;
 - Диапазон частот: 1.8 ГГц;
 - Полоса частот в UL: 10 МГц;
 - Полоса частот в DL: 20 МГц;
 - Дуплекс UL и DL: FDD;
 - Коэффициент шума приемника BS: 2.4 дБ;
 - Коэффициент шума приемника пользователя: 6 дБ;
 - Требуемое отношение SINR для DL: 2 дБ;
 - Требуемое отношение SINR для UL: 4 дБ;
 - Число приемо-передающих антенн на BS (MIMO): 2;
-
- Площадь территории, на которой требуется спроектировать сеть: 100 кв.км;
 - Площадь торговых и бизнес центров, где требуется спроектировать сеть на базе микро- и фемтосот: 4 кв.к м;
 - Базовые станции с фидерами.

Выполнение лабораторной работы

1,2-

Тепловой шум для UL: -104.00 дБм

Чувствительность приемника BS: -97.60 дБм

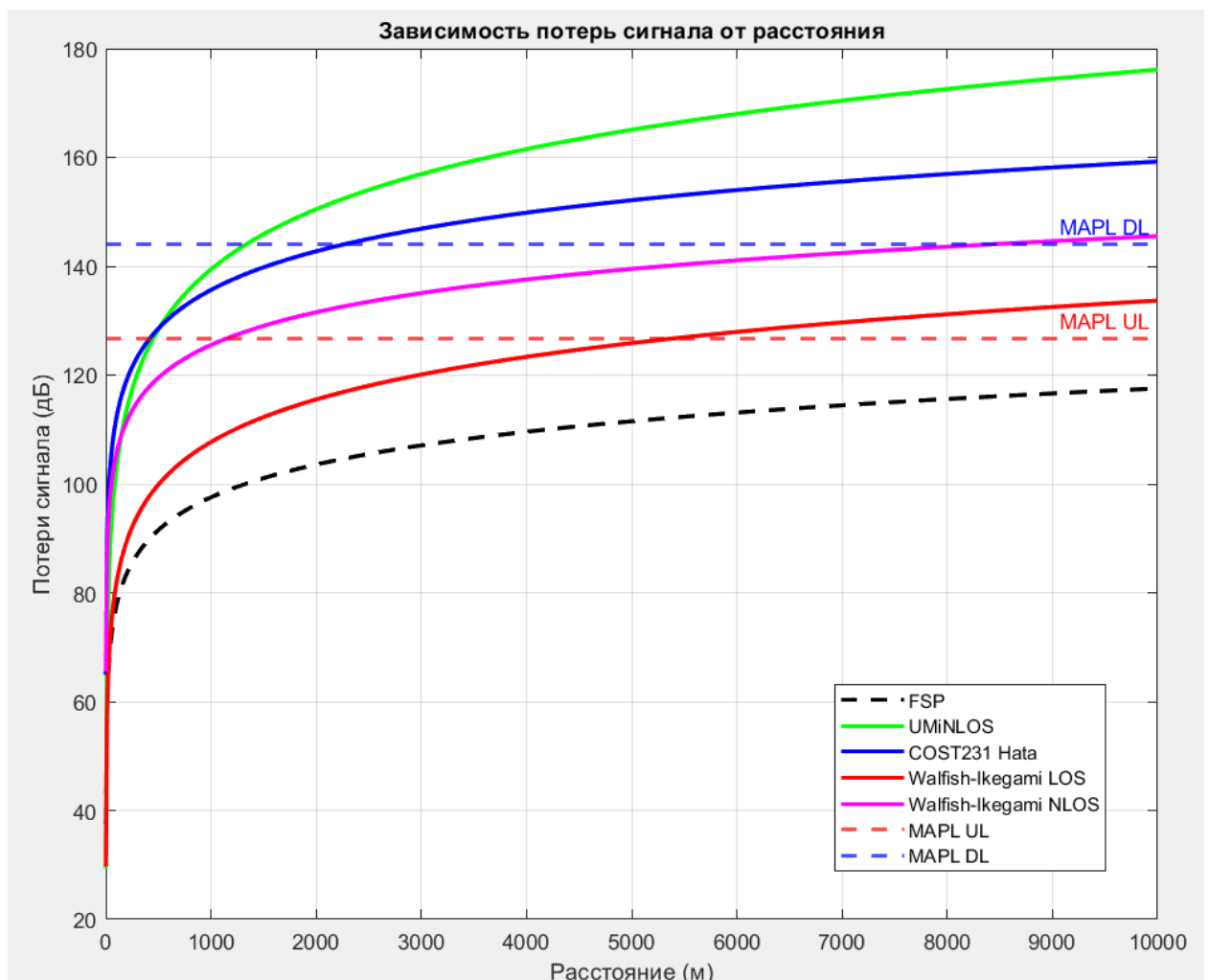
MARL для восходящего канала: 126.60 дБ

Тепловой шум для DL: -100.99 дБм

Чувствительность приемника UE: -92.99 дБм

MARL для нисходящего канала: 143.99 дБ

3-



4-

Модель UMinLOS:

Радиус для UL: 446.93 м, DL: 1330.61 м, Используемый радиус: 446.93 м

Площадь покрытия одной базовой станции: 0.39 кв. км

Количество базовых станций: 256.73

Модель Walfish-Ikegami (LOS):

Радиус для UL: 5329.83 м, DL: NaN м, Используемый радиус: 5329.83 м

Площадь покрытия одной базовой станции: 55.39 кв. км

Количество базовых станций: 1.81

Модель Walfish-Ikegami (NLOS):

Радиус для UL: 1130.93 м, DL: 8373.74 м, Используемый радиус: 1130.93 м

Площадь покрытия одной базовой станции: 2.49 кв. км

Количество базовых станций: 40.10

Модель COST231 Hata:

Радиус для UL: 412.94 м, DL: 2256.39 м, Используемый радиус: 412.94 м

Площадь покрытия одной базовой станции: 0.33 кв. км

Количество базовых станций: 300.74

Для торговых и бизнес центров (UMinLOS):

Площадь покрытия одной микро- или фемтосоты: 0.39 кв. км

Количество микро- и фемтосот: 10.27

Контрольные вопросы

1) Какие модели распространения сигналов используются для расчета радиопокрытия сетей мобильной связи?

Для расчета радиопокрытия сетей мобильной связи используются различные модели распространения сигналов. Выбор конкретной модели зависит от множества факторов, таких как:

- **Частота сигнала:** Модели для разных частотных диапазонов (например, GSM, UMTS, LTE, 5G) могут значительно отличаться.
- **Характеристики местности:** Городская застройка, лесные массивы, рельеф – все это влияет на распространение радиоволн.
- **Требования к точности моделирования:** Для предварительной оценки покрытия можно использовать более простые модели, а для детального планирования сети – более сложные и точные.

Вот некоторые из наиболее распространенных моделей распространения сигналов:

1. Эмпирические модели:

- **Основа:** Построены на основе статистической обработки большого объема экспериментальных данных, собранных в реальных условиях.
- **Преимущества:**
 - Относительно просты в использовании.
 - Учитывают влияние различных факторов (тип местности, частота, высота антенн) через коэффициенты и поправки.
- **Недостатки:**
 - Точность ограничена конкретными условиями, в которых были получены данные.
 - Могут быть неточными в нетипичных или быстро меняющихся условиях.
- **Примеры:**
 - **Модель Окамура-Хата:** Широко применяется для расчета затухания сигнала в городах. Учитывает высоту антенн, частоту, тип застройки.
 - **Модель COST Hata:** Модификация модели Окамура-Хата, адаптированная для европейских условий.
 - **Модель Walfisch-Ikegami:** Учитывает влияние многократных отражений от зданий.

2. Аналитические модели:

- **Основа:**
 - Опираются на **фундаментальные законы физики**, описывающие распространение электромагнитных волн.
 - Используют **математические уравнения** для расчета затухания сигнала в зависимости от расстояния, частоты и других параметров.
- **Преимущества:**

- **Просты в применении.** Формулы, как правило, несложные и не требуют больших вычислительных мощностей.
- **Не требуют детальной информации о местности.**
- **Полезны для понимания базовых принципов распространения радиоволн.**
- **Недостатки:**
 - **Упрощенное представление о реальном мире.** Не учитывают многих факторов, влияющих на сигнал в реальных условиях (препятствия, отражения, дифракция).
 - **Ограниченная точность,** особенно в сложных условиях.
 - **Применимы в основном для сценариев с прямой видимостью** или для получения грубых оценок.
- **Примеры:**
 - **Модель свободного пространства (FSPL):**
 - Предполагает распространение в вакууме без каких-либо препятствий.
 - Учитывает только потери, связанные с увеличением расстояния.

2) Какие основные составляющие бюджета восходящего (UL) и нисходящего (DL) каналов в радиосетях?

Составляющие бюджета нисходящего (DL):

- T_xPower_{BS} – Мощность передатчика базовой станции BS, дБм
- $FeederLoss$ – Уровень потерь сигнала при прохождении через фидер или джампер, дБ
- $AntGain_{BS}$ – коэффициент усиления приемо-передающей антенны базовой станции, дБи
- $MIMO_{Gain}$ – выигрыш за счет использования MIMO, дБ
- $PL(d)$ – уровень потерь радиосигнала в зависимости от удаленности пользователя,
- определяемый моделью распространения сигнала, дБ
- IM – запас мощности на интерференцию (Interference Margin), дБ

- PenetrationM – запас сигнала на проникновение сквозь стены, дБ
- RxSensUser – чувствительность приемника пользователя, дБм

Составляющие бюджета восходящего (UL):

- TxPowerUE – Мощность передатчика абонентской станции UE, дБм
- FeederLoss – Уровень потерь сигнала при прохождении через фидер или джампер, дБ
- AntGainBS – коэффициент усиления приемо-передающей антенны базовой станции, дБи
- MIMOGain – выигрыш за счет использования MIMO, дБ
- PL(d) – уровень потерь радиосигнала в зависимости от удаленности пользователя,
- определяемый моделью распространения сигнала, дБ
- IM – запас мощности на интерференцию (Interference Margin), дБ
- PenetrationM – запас сигнала на проникновение сквозь стены, дБ
- RxSensBS – чувствительность приемника BS, дБм

3) Чем отличается чувствительность приемника базовой станции E и пользовательского терминала UE?

Чувствительность приемника - это минимальный уровень сигнала, необходимый для его успешного приема и декодирования

Чувствительность приемника базовой станции (eNB) **выше**, чем у пользовательского терминала (UE). Это значит, что eNB может принимать **более слабые сигналы**.

Причины:

- **Более мощный приемник и антенна на базовой станции.**
- **Необходимость обслуживания множества UE с разным уровнем сигнала.**
- **Обеспечение покрытия на большой территории.**

4) *Тепловой шум* - это случайное колебание напряжения или тока,

возникающее в проводниках из-за теплового движения электронов. Он является неизбежным источником помех в радиосистемах.

$$\text{ThermalNoise} = -174 + 10 \cdot \log_{10}(BW),$$

где BW – ширина полосы частот принимаемого сигнала в Гц, а -174 дБм – уровень шума на 1 Гц полосы частот при температуре 200С

5) Что ограничивает радиус соты мобильных сетей в нисходящем и восходящем каналах?

В общем случае радиус соты ограничен необходимостью обеспечить заданное качество связи для всех пользователей.

- **Нисходящий канал:** Радиус ограничен максимальным расстоянием, на котором сигнал от БС достаточно силен для качественного приема UE, с учетом затухания и интерференции.
- **Восходящий канал:** Радиус ограничен максимальным расстоянием, на котором сигнал от UE достаточно силен для приема БС, с учетом ограниченной мощности передатчика UE и интерференции от других UE.

Если упростить, то:

- БС должна "доставать" до UE, а UE - до БС.
- При этом сигналы не должны быть слишком слабыми или зашумленными.

6) Из чего состоят потери сигнала в антенно-фидерном тракте базовой станции BS?

Потери сигнала в антенно-фидерном тракте базовой станции (БС) складываются из нескольких составляющих:

1. Потери в фидере:

- **Потери в кабеле:** Зависят от типа кабеля (коаксиальный, волновод), его длины, частоты сигнала.
- **Потери в разъемах:** Возникают на каждом соединении кабеля с оборудованием.
- **Потери в ответвителях и делителях мощности:** Используются для подключения нескольких антенн к одному передатчику.

2. Потери в антенне:

- **Потери на излучение:** Не вся энергия, подводимая к антенне, преобразуется в электромагнитные волны.
- **Потери на согласование:** Несогласованность импеданса антенны и фидера приводит к отражению сигнала.

3. Дополнительные потери:

- **Потери в фильтрах:** Используются для подавления нежелаемых частот.
- **Потери в циркуляторах и изоляторах:** Применяются для защиты передатчика от отраженного сигнала.

Приложение

