

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 08.08.2023 14:46:47

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c1ee17e529450111851fb51d099

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 8 » 08 2023 г.



### ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТИ РАДИОДОСТУПА UMTS И РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Методические указания по выполнению лабораторной работы  
для студентов направления подготовки

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Курск 2023

УДК 621.3.095

Составители: А. Е. Севрюков

Рецензент

Доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор кафедры космического приборостроения и систем связи  
*А. А. Гуламов*

**Планирование сети радиодоступа UMTS и расчёт основных параметров:** методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А. Е. Севрюков. – Курск, 2023. – 20 с.

Методические указания содержат теоретический материал, практические указания и индивидуальные задания необходимые для выполнения лабораторной работы.

Полученные знания в результате выполнения лабораторной работы дадут возможность углубить компетенции понимания принципов проектирования и эксплуатации систем инфокоммуникаций, организации эксплуатации оборудования, проведению измерений, проверки качества работы, проведения расчетов по проектированию сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (очной и заочной форм обучения) при изучении дисциплины «Проектирование систем и сетей радиодоступа».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать 08.08.23. Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,03. Тираж 100 экз. Заказ 756. Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Основные этапы планирования радиосети WCDMA

Как правило, планирование радиосети включает в себя несколько этапов. Как и в сетях второго поколения они могут быть разделены на 3 фазы: начальное планирование (расчет, постановка целей), детальное планирование радиосети и работы по оптимизации. В сотовых системах, в которых все каналы связи в воздушном интерфейсе работают на одной частоте (WCDMA), количество одновременно обслуживаемых пользователей влияет на уровень шумов в системе. Следовательно, планирование зоны обслуживания и емкости радиосети WCDMA не могут быть отдельными этапами планирования. В системах третьего поколения важную роль начинают играть сервисы по передаче данных. Множество различных сервисов требуют обширного процесса планирования учитывающего особенности каждой из предоставляемых услуг. Такими особенностями являются, например, разные требования к качеству обслуживания (QoS) для каждого сервиса. Для каждого конкретного вида услуги необходимо определение и соответственно выполнение требований к качеству обслуживания (QoS target). На практике данное означает, что самые строгие требования должны определять плотность расположения базовых станций.

В системе должны быть проанализированы как восходящая радиолиния (uplink) так и нисходящая радиолиния (downlink). В UMTS одна из радиолиний может быть нагружена сильнее чем другая, следовательно эта линия будет ограничивать емкость и зону обслуживания соты. Расчеты, связанные с распространением радиоволн, в основном одинаковы для всех технологий радиодоступа, с той лишь разницей, что используются разные модели распространения. В случае WCDMA требуется оценка уровня помех. Это необходимо для анализа нагрузки сети и чувствительности приемников.

Предварительное планирование представляет собой первую приближительную оценку требуемого числа сетевых элементов (конфигурация, количество базовых станций) и их соответствующую емкость. Данный этап включает в себя как планирование сети радиодоступа так и базовой сети. Задача начального этапа планирования - это рассчитать необходимую плотность расположения базовых станций и их конфигурацию для определенной территории. Данный этап включает в себя расчет бюджета радиолинии, оценку емкости сети, анализ покрытия, и как результат количество необходимого оборудования. Распределение нагрузки сети по различным сервисам, распределение трафика по территории и требования к качеству обслуживания являются исходными данными для расчета.

### 1.1. ВЫБОР ВАРИАНТА

Общие исходные данные для расчета

Коэффициент усиления антенны БС ( $G_{bc}$ )	18 дБ
Коэффициент усиления антенны МС ( $G_{mc}$ )	0 дБ
Потери в фидере ( $L_{фидер}$ )	2 дБ
Минимальная мощность мобильной станции ( $P_{mc}$ )	21 дБмВт

Таблица для выбора исходных данных (индивидуальные данные для расчета)

<i>№ вар.</i>	<i>Тип сервиса</i>	<i>Скорость перемещения абонента</i>	<i>Вероятность обслуживания в соте</i>	<i>Тип местности</i>
1	Телефония 12.2 кбит/с	Небольшая	0.88	Сельская местность
2	Передача данных 144 кбит/с	Средняя	0.899	Пригород
3	Видеотелефония 64 кбит/с	Высокая	0.915	Город
4	Передача данных 384 кбит/с	Средняя	0.929	Плотная городская застройка
5	Передача данных 384 кбит/с	Высокая	0.942	Город
6	Передача данных 144 кбит/с	Небольшая	0.953	Сельская местность
7	Видеотелефония 64 кбит/с	Высокая	0.915	Плотная городская застройка
8	Телефония 12.2 кбит/с	Средняя	0.899	Сельская местность
9	Передача данных 144 кбит/с	Средняя	0.929	Плотная городская застройка
10	Видеотелефония 64 кбит/с	Высокая	0.942	Город
11	Передача данных 384 кбит/с	Высокая	0.953	Сельская местность
12	Передача данных 144 кбит/с	Небольшая	0.899	Город
13	Видеотелефония 64 кбит/с	Высокая	0.953	Плотная городская застройка

Задача расчета бюджета радиолиний это оценка максимальных допустимых потерь на трассе. При расчете бюджета радиолинии учитываются параметры антенн, потери в кабелях, выигрыши от разнесения, запасы на замирания и.т.д. Результатом расчета является максимальные разрешенные потери на трассе.

Основные параметры использующиеся в расчете:

$E_b/N_0$  – отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума. Требуемое отношение  $E_b/N_0$  зависит от типа сервиса, скорости передвижения абонента и радиоканала.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_{\text{пр}}}{I} \cdot \frac{W}{R}, \quad (1)$$

$$I_{UL} = I_{own} + I_{oth} + P_N, \quad (2)$$

$$I_{UL} = I_{own}(1 - \alpha) + I_{oth} + P_N, \quad (3)$$

где

$P_{\text{пр}}$  - мощность принимаемого сигнала;

$I$  - мощность помехи;

$I_{own}$  - суммарная мощность полученная от обслуживающей соты (исключая собственный сигнал);

$I_{oth}$  - суммарная мощность полученная от других сот;

$\alpha$  - фактор ортогональности;

$R$  - скорость передачи;

$W$  - полоса частотного канала;

$P_n$  – мощность шума.

Минимально допустимое значение  $E_b/N_0$  на входе приемника является характеристикой оборудования (приемника), следовательно оно будет индивидуальным для оборудования разных производителей, также оно будет разным для приемников базовой и мобильной станций в следствие различий в сложности их устройства. Однако, значения требуемого отношения  $E_b/N_0$  определено спецификациями 3GPP(3GPP 25.101) для различных типов условий (типов радиоканала). Данные требования с учетом параметров оборудования Nokia Flexi WCDMA BTS представлены в таблице 1:

**Таблица 1 - Значения  $E_b/N_0$  для различных типов услуг**

Восходящая линия	$E_b/N_0$ , дБ	$E_b/N_0$ , дБ	$E_b/N_0$ , дБ	$E_b/N_0$ , дБ
тип сервиса	Телефония	Видеотелефония	Передача данных	Передача данных
скорость		64 кбит/с	144 кбит/с	384 кбит/с
3 км/ч	4,4	2	1,4	1,7
50 км/ч	4,9	2,4	1,9	2,3
120 км/ч	5,4	2,9	2,4	2,9
Нисходящая линия	$E_b/N_0$ , дБ	$E_b/N_0$ , дБ	$E_b/N_0$ , дБ	$E_b/N_0$ , дБ
тип сервиса	Телефония	Видеотелефония,	Передача данных,	Передача данных,
скорость	12,2 кбит/с	64 кбит/с	144 кбит/с	384 кбит/с
3 км/ч	7,9	5	4,7	4,8
50 км/ч	7,6	4,7	4,5	4,6
120 км/ч	7,4	4,5	4,2	4,3

Требуемое значение  $E_b/N_0$  зависит от:

- типа услуги (скорость передачи, требование к BER, BLER, метод канального кодирования);
- радиоканала (скорость движения абонента, частота, многолучевость);
- типа соединения (мягкий хэндовер, разнесенный прием, использование быстрого управления мощностью).

Требуемое отношение сигнал/шум вычисляется по формуле:

$$\frac{E_c}{I} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R}{W} \quad (4)$$

Таким образом, в системе WCDMA соотношение  $E_b/N_0$ , больше чем отношение сигнал/шум в  $\frac{W}{R}$  раз,  $\frac{W}{R}$  - величина называемая коэффициентом расширения или выигрышем от обработки. Поэтому допустимое соотношение сигнал/шум в приемнике может быть много меньше единицы.

## 1.2 Методика расчета бюджета радиолиний системы WCDMA

**Чувствительность приемника.** Чувствительность приемника ограничена тепловым шумом. Спектральная плотность шума  $N_0$  определяется, как

$$N_0 = k \cdot T \quad (5)$$

где  $k$ - постоянная Больцмана ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К),

$T$  – температура проводника  $293^\circ$  К.

Мощность теплового шума в приемнике зависит от полосы пропускания фильтра. Для стандарта WCDMA полосу согласованного фильтра можно принять равной 3.84 МГц. Абсолютная мощность теплового шума в приемнике рассчитать по формуле:

$$N_{abs} = N = k \cdot T \cdot B = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3.84 \cdot 10^6 = 1.55 \cdot 10^{-14} \text{ Вт}, \quad (6)$$

где  $B$  – полоса пропускания согласованного фильтра

Относительная мощность  $N = 10 \cdot \log(1.55 \cdot 10^{-14} / 0.001) = -108,2$  дБмВт.

В реальном приемнике уровень шумов также определяется качеством внутренних компонентов таких как малошумящие усилители, фильтры, которые также создают дополнительный шум. Коэффициент шума приемника равен отношению сигнал/шум на его входе и выходе  $K_{ш} = 10 \log_{10}((C/\text{Ш})_{\text{вх}} / (C/\text{Ш})_{\text{вых}})$ . Поэтому мощность собственных шумов приемника можно записать:

$$P_{ш} = N + K_{ш} \text{ (дБмВт)}. \quad (7)$$

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника определяется как:

$$P_{пр}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{треб}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}), \quad (8)$$

где

$(E_b/N_0)_{треб}$  – требуемое значение  $E_b/N_0$ ,

$G_{обр}$  – выигрыш от обработки.

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника зависит от требуемого отношения  $E_b/N_0$ , скорости передачи данных пользователя, качества аналоговых компонентов приемника, уровня помех. Помехи могут создавать

разные источники: абоненты из обслуживаемой соты, абоненты обслуживаемые другими сотами, а также другие источники, создающие действующие в диапазоне используемого частотного канала.

### Запас на допустимые внутрисистемные помехи.

При расчете используется величина запаса на внутрисистемные помехи, которая характеризует возрастание мощности шума на входе приемника. Для расчета, принимают что запас на внутрисистемные помехи равен:

$$L = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \quad (9)$$

где  $\eta$  – относительная нагрузка соты в восходящей или нисходящей линии.

Как видно, запас на внутрисистемные помехи это функция от загрузки соты, чем больше разрешенная нагрузка в соте, тем большую величину запаса необходимо учесть в расчете. При росте нагрузки до 100% запас на помехи стремится к бесконечности и зона обслуживания соты уменьшается до нуля. Зависимость значения данной величины от загрузки соты представлена на рисунке 1:

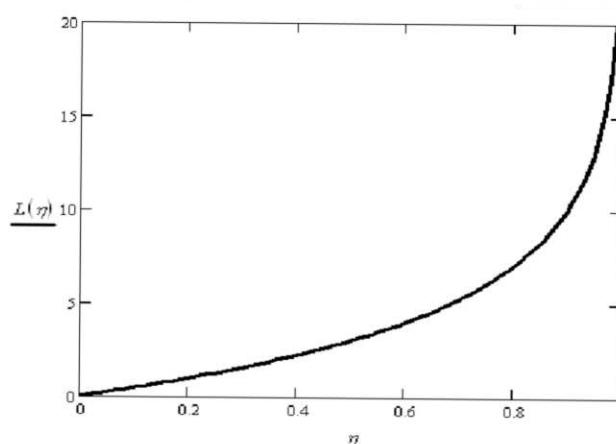


Рисунок 1. Зависимость значения запаса на внутрисистемные помехи от значения относительной загрузки соты

Для восходящей линии относительная нагрузка соты может быть определена с помощью выражения:

$$\eta_{ul} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k \cdot v}} \cdot (1 + i), \quad (10)$$

где  $K_N$  – количество пользователей;

$W$  – скорость передачи чипов в WCDMA (3.84 Мчип/с);

$\rho_k$  – требуемое отношение  $E_b/N_0$ , для пользователя с номером  $k$ ;

$R_k$  – скорость передачи данных пользователя с номером  $k$ ;

$v$  – коэффициент занятия услуги;

$i$  – отношение  $I_{oth}/I_{own}$ , где  $I_{oth}$  – принятая мощность от абонентов окружающих сот,  $I_{own}$  – принятая мощность от абонентов обслуживаемой соты.  $i$  характеризует «изоляция» соты.

Относительная нагрузка соты в нисходящей линии уменьшена на величину  $\alpha$  характеризующую ортогональность кодов в нисходящей линии:

$$\eta_{dl} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k \cdot v}} ((1 - \alpha) + i). \quad (11)$$

Также загрузку соты можно определить с помощью соотношения:

$$\eta = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^m R_j \cdot \rho_j \cdot v \cdot (1 + i), \quad (12)$$

где  $m$ - количество услуг предоставляемых в соте;

$R_j$  – скорость передачи данных для услуги;

$\rho_j$ - требуемое отношение  $E_b/N_0$  для услуги.

**Выигрыш за счет мягкого хэндовера.** Мягкий хэндовер имеет место в том случае, когда мобильная станция соединена как минимум с двумя сотами одновременно. В случае, если эти соты принадлежат двум разным базовым станциям (Node B) объединение двух восходящих каналов осуществляется контроллером радиосети (RNC). В случае, если соты принадлежат одной базовой станции объединение сигналов осуществляется базовой станцией. В нисходящей линии объединение двух каналов осуществляется РАКЕ-приемником мобильной станции методом оптимального сложения. В реальной сети, зоны обслуживания большинства сот пересекаются. Выигрыш от мягкого хэндовера зависит от условий распространения радиоволн. В городах где замирения сигналов очень существенны, корреляция между сигналами пришедшими от разных источников мала, и как результат возрастает выигрыш от использования мягкого хэндовера. И наоборот в сельской местности когда сигналы незначительно подвержены замираниям, корреляция между сигналами от разных источников возрастает и выигрыш уменьшается. Величина выигрыша может меняться в пределах 2-5 дБ. Типичная величина выигрыша, которой задаются, для расчета бюджета радиолинии составляет 2-3 дБ.

**Ограничение управления мощностью или запас на быстрые замирения.** Алгоритм быстрого управления мощностью введен в WCDMA для того, чтобы поддерживать требуемое значение  $E_b/N_0$  на входе приемника постоянным во время быстрых замираний, обусловленных многолучевостью. Глубина замираний может достигать до 30 дБ. Быстрое управление мощностью особенно важно для абонентов имеющих малую скорость передвижения, так как они не могут быстро изменить свое положение для компенсации глубоких замираний. Для того чтобы учесть этот процесс в расчете зададимся величиной запаса на быстрые замирения. Величина запаса на быстрые замирения зависит от скорости абонента. Типичные значения представлены в таблице 2

**Таблица 2 - Типичные значения величины запаса на быстрые замирения**

Тип абонента, скорость перемещения	Типичная величина запаса на быстрые замирения $L_{ff}$
Небольшая скорость (3 км/ч)	3-5 дБ
Средняя скорость (50 км/ч)	1-2 дБ
Высокая скорость (120 км/ч)	0.1 дБ



**Таблица 3 - Мощность передатчика БС ( $P_{bc}$ ) на кодовый канал [параметры использующиеся в оборудовании Nokia]**

Тип услуги	Телефония, $R=12,2$ кбит/с	Видеотелефония, $R=64$ кбит/с	Передача данных, $R=144$ кбит/с	Передача данных, $R=384$ кбит/с
Максимальная мощность передатчика на канал, дБмВт	34,2	37,2	40	40

**Таблица 4 - Значения величины среднеквадратического отклонения и степени потерь для различных типов местности**

Тип местности	$\delta_{outdoor}$	$\delta_{indoor}$
Сельская местность	8	-
Пригород	8	4
Город	7	5
Плотная городская застройка	7	6

**Таблица 5 - Зависимость вероятности обслуживания в соте от значения запаса на медленные замирания**

$L_{sf}$ запас на медленные замирания	Вероятность обслуживания в соте
5	0.88
6	0.899
7	0.915
8	0.929
9	0.942
10	0.953

**Задание:** Провести расчет допустимых потерь на трассе для восходящей и нисходящей линии. Расчет производится для выбранной услуги, требующей заданной скорости передачи данных в нисходящей и восходящей линии.

### I. Расчет восходящей радиолинии.

**1. Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС определяется из выражения (8) :**

$$P_{прбс}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}),$$

где  $(E_b/N_0)_{\text{треб}}$  – требуемое значение  $E_b/N_0$ ,

$G_{обр}$  – выигрыш от обработки,

$P_{ш}$  – мощность собственных шумов приемника.

Для анализа выбран тип оборудования БС Nokia Flexi WCDMA BTS. Коэффициент шума приемника данной базовой станции менее 3 дБ. Для расчета примем  $Kш=3$  дБ.

Определить мощность шумов приемника БС из (1.7):

$$P_{ш} = N + K_{ш} = \dots \text{дБмВт.}$$

Минимально допустимое значение  $E_b/N_0$  на входе приемника для заданного типа сервиса взять из табл. 1.1 при скорости абонента определенной исходными данными.

Определить выигрыш от обработки:

$$G_{обр} = 10 \log_{10}(R_{\text{чип}}/R_{\text{польз}}) = \dots \text{дБ, (13)}$$

$R_{\text{чип}}$  - чиповая скорость стандарта UMTS,  $3,84 \cdot 10^6$  чип/с,

$R_{\text{польз}}$  - скорость передачи данных пользователя, определена исходными данными.

Также, необходимо учесть выигрыш за счет мягкого хендовера и запас на внутрисистемные помехи. Величину выигрыша принять равной  $G_{хо}=2$  дБ. Величину запаса на внутрисистемные помехи определить из выражения (9). Величину относительной загрузки соты для начального расчета принять равной 50%. Выбор этой величины обусловлен следующими соображениями:

- Неустойчивость работы системы управления мощностью при нагрузках превышающих 75%, которая проявляется в попытках осуществления больших корректирующих воздействий регулировки мощности в качестве реакции на небольшие быстрые изменения нагрузки.
- Необходимостью резервирования 30% ресурсов емкости соты для процедур мягкого хендовера.

Запас на внутрисистемные помехи будет равен:

$$L_n = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta) = \dots \text{дБ.}$$

С учетом вышеуказанных факторов, определить минимально допустимую мощность сигнала на входе приемника БС:

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{\text{треб}} - G_{обр} + L_n - G_{хо} = \dots \text{дБмВт.} \quad (14)$$

**2. Требуемая мощность принимаемого сигнала на входе приемника БС определяется выражением:**

$$P_{пр} = P_{прбс} + L_{\text{фидер}} - G_{бс} + L_{\text{фф}} = \dots \text{дБмВт,} \quad (15)$$

где  $L_{\text{фидер}}$  - потери в фидере, дБ. Как правило, длина и тип фидера выбирается таким образом, чтобы значение затухания в нем составляла не более 3 дБ;  
 $G_{\text{бс}}$  – коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ. Для расчета взять данные из таблицы исходных данных;

$L_{\text{фф}}$  –запас на быстрые замирания, дБ. Значение  $L_{\text{фф}}$  получить из табл. 2 на основании исходных данных для проектирования.

**3. Эффективно излучаемая мощность мобильной станции** определяется выражением:

$$P_{\text{измс}} = P_{\text{мс}} + G_{\text{мс}} - L_{\text{тело}} = \text{дБмВт}, \quad (16)$$

где  $P_{\text{мс}}$  – мощность передатчика мобильной станции. Для расчета взять минимальную мощность мобильной станции **21 дБмВт** определенную стандартом для класса 4;

$G_{\text{мс}}$  – коэффициент усиления антенны мобильной станции, принять равной 0 дБ;

$L_{\text{тело}}$  – потери на затухание в теле абонента.

**ВНИМАНИЕ:** Для расчета  $L_{\text{тело}}$  принимают равным 3 дБ. для голосовых типов услуг, и могут не учитываться ( $L_{\text{тело}}=0$  дБ.) для услуг по передаче данных.

**4. Максимально допустимые потери на трассе** равны:

$$L_{\text{max}} = P_{\text{измс}} - P_{\text{пр}} = \text{дБ}. \quad (17)$$

## II. Расчет нисходящей радиолинии

**1. Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС** определяется аналогичным выражением (как и для БС):

$$P_{\text{прмс}}(\text{дБмВт}) = P_{\text{ш}}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - G_{\text{обр}}(\text{дБ}).$$

Приемник мобильной станции более простой, чем приемник БС, в нем используются более простые компоненты, следовательно, его коэффициент шума выше. Стандартом коэффициент шума приемника МС должен иметь значение <9 дБ. Для расчета примем  $K_{ш}=8$  дБ.

Рассчитать мощность собственных шумов приемника МС:

$$P_{\text{ш}} = N + K_{ш} = \text{дБмВт}.$$

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС с учетом запаса на внутрисистемные помехи и выигрыш от мягкого хэндовера равна:

$$P_{\text{прмс}} = P_{\text{ш}} + (E_b/N_0)_{\text{треб}} - G_{\text{обр}} - L_n - G_{\text{хо}} = \text{дБмВт},$$

где  $(E_b/N_0)_{\text{треб}}$  - минимально допустимое значение  $E_b/N_0$  на входе приемника для заданном типе сервиса и скорости абонента;

$$G_{\text{обр}} = 10 \log(R_{\text{чип}}/R_{\text{польз}}) = \text{дБ};$$

$R_{\text{чип}}$  - чиповая скорость стандарта UMTS,  $3,84 \cdot 10^6$  чип/с;

$R_{\text{польз}}$  - скорость передачи данных пользователя выбрать в соответствии с вариантом из таблицы исходных данных ;

$L_n$  – запас на внутрисистемные помехи. Принять, что сота в нисходящей линии загружена также как и в восходящий.  $L_n = 3$  дБ;

$G_{xo}$  – выигрыш за счет мягкого хендовера принять также 2 дБ.

**2. Требуемая мощность принимаемого сигнала** определяется выражением:

$$P_{np} = P_{прмс} + L_{тело} - G_{мс} + L_{ff} = \text{дБмВт},$$

где  $L_{тело}$  – потери на затухание в теле абонента определены типом услуг.

$G_{мс}$  – коэффициент усиления антенны мобильной станции, дБ.

$L_{ff}$  – запас на быстрые замирания, дБ.

**3. Эффективно излучаемая мощность БС:**

$$P_{избс} = P_{бс} + G_{бс} - L_{фидер} = \text{дБмВт},$$

где  $P_{бс}$  – мощность передатчика базовой станции на кодový канал.

Для заданного типа сервиса величину максимальной мощности передатчика на кодový канал взять из таблицы 3;

$G_{бс}$  – коэффициент усиления антенны базовой станции;

$L_{фидер}$  – потери обусловленные затуханием в фидере.

**4. Допустимые потери на трассе:**

$$L_{max} = P_{избс} - P_{np} = \text{дБ}.$$

В данном расчете не учитывались затенения сигнала препятствиями (здания, деревья и.т.д.), затухания вносимые стенами зданий для абонентов находящихся внутри помещений. Величина этого запаса влияет на величину вероятности обслуживания в соте.

Статистический анализ измерений уровня принимаемого радиосигнала показывает, что величина потерь  $L(d)$ , в каждой конкретной точке между базовой и мобильной станцией на любом расстоянии может рассматриваться как случайная величина которая подчиняется нормальному гауссовскому распределению относительно среднего значения потерь. Таким образом, значение уровня максимально допустимых потерь на трассе определяется выражением:

$$L(d)_{max} [\text{дБ}] = L_{max} [\text{дБ}] + \delta [\text{дБ}] \quad (18)$$

Необходимо учесть обслуживание абонентов внутри помещений, необходимо задать величину потерь на проникновение в здание  $\delta$ .

Характерные значения величины среднеквадратического отклонения и степени потерь представлены в таблице 4 :

Из таблицы, примем  $\delta_{outdoor} = \dots$  дБ,  $\delta_{indoor} = \dots$  дБ (среднеквадратические отклонение замираний в открытом пространстве и помещении соответственно для заданного варианта задания).

Суммарное среднеквадратическое отклонение:

$$\delta = \sqrt{\delta_{indoor}^2 + \delta_{outdoor}^2} = \dots \approx \text{дБ}. \quad (19)$$

Исходя из требований к вероятности обслуживания в соте, определенной исходными данными, постепенно увеличивая величину запаса на медленные замирания  $L_{sf}$ , добиться требуемого значения вероятности.

Величина допустимых потерь на трассе равна:

$$L_{\partial on} = L(d)_{max} - L_{sf} - L_{\partial \delta}, \quad (20)$$

где  $L(d)_{max}$  - максимально допустимые потери на трассе,  
 $L_{зд}$  - потери на проникновение в здание,  
 $L_{sf}$  - значение запаса на медленные замирания.

Для заданного исходными данными типа сервиса и скорости передачи данных рассчитать значения допустимых потерь для восходящей и нисходящей линии:

Восходящая линия  $L_{дон} = L(d)_{max} - L_{sf} - L_{зд} = \dots$  дБ.

Нисходящая линия  $L_{дон} = L(d)_{max} - L_{sf} - L_{зд} = \dots$  дБ.

Для дальнейшего расчета зоны обслуживания или радиуса соты, берется **меньшее** из значений допустимых потерь в восходящей или нисходящей линии.

### III. Расчет покрытия и анализ емкости системы UMTS

Для расчета покрытия, определяют требуемый уровень пилотного сигнала (CPICH), определяющий потери на трассе, таким образом, по уровню CPICH можно судить о доступности того или иного сервиса. Обычно, уровень пилотного сигнала составляет 10% от суммарной мощности передатчика БС. Выходная мощность БС составляет 43 дБмВт. Соответственно мощность пилотного сигнала равна  $P_{CPICH} = 33$  дБмВт.

Мощность принимаемого пилотного сигнала для доступности услуги должна составлять:

$$P_{прCPICH} = P_{избс} - L_{дон} + (P_{CPICH} - P_{бс}) \quad (21)$$

где  $P_{избс}$  - эффективно излучаемая мощность БС на кодовой канал,

$L_{дон}$  - максимально допустимые потери на трассе,

$P_{бс}$  - мощность передатчика БС на кодовый канал,

$P_{CPICH}$  - мощность пилотного сигнала БС.

Для анализа взяты исходные данные, определяющие абонентскую нагрузку на начальном этапе развертывания сети.

#### Исходные данные для расчета:

- Количество пользователей: 9000;
- Объем речевого трафика от абонента:  $T_{абголос} = 20$  мЭрл ;
- Объем трафика видеовызова от абонента:  $T_{абвидео} = 6$  мЭрл.

Для представления размерности пакетного трафика в Эрлангах использована формула:

$$T_{эрл} = T(\text{бит/ч}) / R(\text{бит/с}) / 3600,$$

где  $T_{эрл}$  - пакетный трафик (Эрл),

$T_{эрл}$  - количество загруженной/выгруженной информации за час пользователем (бит/ч),

$R$  - скорость передачи пользователя.

- Объем пакетного трафика загружаемого (нисходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 144 кбит/с.  $T_{144DL} = 500$  кбайт/час.

$$T_{144DLэрл} = 8 \cdot 1000 \cdot T_{144DL} / (1000 \cdot 144) / 3600 = 0,008 \text{ Эрл.}$$

- Объем пакетного трафика загружаемого (нисходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 384 кбит/с.  $T_{384DL} = 500$  кбайт/час.

$$T_{384DL_{эпл}}=8 \cdot 1000 \cdot T_{144DL}/(1000 \cdot 384)/3600=0,006 \text{ Эрл.}$$

- Объем пакетного трафика передаваемого(восходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 144 кбит/с.  $T_{144UL}=200$  кбайт/час.

$$T_{144UL_{эпл}}=8 \cdot 1000 \cdot T_{144UL}/(1000 \cdot 144)/3600=0,003 \text{ Эрл.}$$

- Объем пакетного трафика передаваемого(восходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 384 кбит/с.  $T_{384UL}=200$  кбайт/час.

$$T_{384UL_{эпл}}=8 \cdot 1000 \cdot T_{384UL}/(1000 \cdot 384)/3600=0,001 \text{ Эрл.}$$

- Требуемый процент блокировок вызова 2%.

### **Расчет предельной теоретической емкости соты для восходящей линии.**

В WCDMA все соты системы используют одну и ту же частоту, поэтому емкость данной системы ограничена помехами. Следовательно, допустимая емкость системы не должна приводить к росту внутрисистемных помех выше заданного уровня. Рассчитаем предельную емкость соты, при которой уровень внутрисистемных помех стремится к бесконечности и покрытие соты уменьшается до нуля. Предельную емкость соты можно вывести из выражения для относительной загрузки соты.

Предельная емкость соты или количество одновременных соединений равно:

$$N_{пр} = \left(1 + \frac{G_{обр}}{\frac{E_b}{N_0}} \cdot \frac{1}{v}\right) \cdot (1 + i), \quad (22)$$

где

$G_{обр}$  - выигрыш от обработки.

$v$  - коэффициент занятия услуги.

$i$  - отношение  $I_{отл}/I_{own}$ , где  $I_{отл}$  - принятая мощность от абонентов окружающих сот,  $I_{own}$  - принятая мощность от абонентов обслуживаемой соты.

Характеризует «изоляция» соты. Для хорошо изолированных сот (indoor, пикосоты), значение  $i$  очень мало и составляет около 0.1. Соответственно для макросот значение  $i$  увеличивается в связи с возможным перекрытием зон обслуживания. Также заметно влияние количества секторов в соте на увеличение  $i$ , это связано с тем что для многосекторных БС используются антенны с более узкой диаграммой направленности, а следовательно и с большим коэффициентом усиления, соответственно зона обслуживания такой БС возрастает. Из выражения (22) следует, что для увеличения емкости системы необходимо стремиться к лучшей изоляции сот (уменьшению значения  $i$ ). Для этого применяется регулируемый угол наклона ДН антенн в вертикальной плоскости, правильный выбор азимутов для юстировки антенн и другие методы. Значения величины  $i$  для различных типов сот представлены в таблице 6 и выбираются исходя из варианта исходных данных

**Таблица 6 - Значения величины  $i$  для различных типов сот.**

Пико-сота внутри помещения	Микросота с ненаправленной антенной	Макросота с ненаправленной антенной	2-х секторная БС	3-х секторная БС	6-и секторная БС
0.1-0.2	0.25-0.55	0.45	0.55	0.65	0.85

$\nu$  – коэффициент занятия услуги. Данный коэффициент описывает отношение времени передачи данных пользователя к общему времени занятия канала, в случае применения прерывистой передачи (DTX). Типичные значения величины данного коэффициента для телефонии составляет 50%, так как принимается, что половина разговора занимают паузы. Для расчетов значения данного коэффициента выбрано 67% с учетом запаса на передачу каналов сигнализации (DPSSN), который принят равным 17%. Для услуг предоставляющих передачу данных коэффициент занятия услуги принимается равным 100%, так как канал для передачи данных резервируется и используется абонентом только в период самой передачи.

Произвести расчет предельной емкости соты для предоставляемых типов услуг, определенных исходными данными:

Выигрыш от обработки для данных скоростей передачи составляет:

$$G_{обр} = W/R \text{ или } G_{обр} = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{R}\right) \text{ в дБ,}$$

$W$  – скорость следования чипов в WCDMA равна 3,84 Мчип/с.

Результаты расчетов свести в таблицу 7:

**Таблица 7. Выигрыш от обработки для различных типов услуг.**

Тип услуги, скорость передачи данных	Выигрыш от обработки, раз	Выигрыш от обработки, дБ
Телефония, 12,2 кбит/с		
Видео-телефония, 64 кбит/с		
Передача данных 144 кбит/с		
Передача данных 384 кбит/с		

Результат расчетов предельной емкости в восходящей линии свести в таблицу 8.

**Таблица 8 - Предельная емкость соты в восходящей линии.**

Тип услуги, скорость передачи	Предельная емкость соты, количество одновременных соединений(пользователей)
Телефония, 12.2 кбит/с	
Видеотелефония, 64 кбит/с	
Передача данных, 144 кбит/с	
Передача данных, 384 кбит/с	

### Расчет предельной теоретической емкости соты для нисходящей линии.

Предельная емкость соты для нисходящей линии для относительной загрузки соты в нисходящем канале определяется выражением (23):

$$\eta_{dl} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{w}{\rho_k \cdot R_k \cdot \nu}} ((1 - \alpha) + i) \quad (23):$$

В сравнении с формулой для относительной загрузки соты в восходящей линии, в данном выражении используется параметр  $\alpha$  – коэффициент ортогональности в нисходящем канале. В радиointерфейсе WCDMA используются ортогональные коды Уолша переменной длины в нисходящей линии для разделения каналов пользователей. В случае отсутствия

многолучевости ортогональность этих каналов сохраняется. Однако в многолучевом радиоканале, ортогональность кодов нарушается. Следовательно возрастает уровень внутрисистемных помех. Потеря ортогональности нисходящих каналов характеризуется значением величины  $\alpha$ . Данная величина оказывает значительное влияние на площадь покрытия и емкость соты в нисходящем канале. Идеальная ортогональность означает, то что взаимная корреляция всех каналов равна 0, следовательно, нежелательные каналы могут быть полностью отделены от полезной информации в приемнике МС. Коэффициент ортогональности равный 1 соответствует идеальной ортогональности нисходящих каналов. Значение 0 соответствует полной потере ортогональности нисходящих каналов. Обычно значение коэффициента ортогональности принимает значение от 0.4 до 0.9 в многолучевых радиоканалах. При расчетах задаются неким постоянным коэффициентом ортогональности зависящим от

- типа местности
- класса базовой станции
- типа радиоканала

Типы местности часто используются в различных инструментах для планирования, а также при расчетах для того, чтобы характеризовать среду распространения. В случае открытого типа местности(случай прямой видимости) всегда присутствует основная компонента сигнала и относительно низкий уровень прочих компонент. Следовательно, в этом случае коэффициент ортогональности будет максимальным. В случае городского типа местности (плотная застройка) обычно нет прямой видимости между передающей антенной БС и антенной МС, соответственно на вход приемника поступает множество отраженных компонент с различными величинами задержек, вследствие этого ортогональности нисходящих каналов уменьшается, что отражается в уменьшении коэффициента  $\alpha$  для данного типа местности. В загородном типе местности есть большая вероятность присутствия основной компоненты (прямого луча), в этом случае коэффициент ортогональности будет выше чем для городского типа местности. Значения коэффициента ортогональности в зависимости от типа местности, заданной исходными данными, представлены в таблице 9:

**Таблица 9 - Среднее значение коэффициента ортогональности в зависимости от типа местности для макро.**

Тип местности	Открытая местность	Пригород	Город	Плотная застройка
Коэффициент ортогональности	0.825	0.65	0.525	0.4

Тип БС также влияет на коэффициент ортогональности. Для макро-БС коэффициент ортогональности выбирается в зависимости от типа местности, где расположена БС. Однако, в городских условиях, антенна БС обычно располагается ниже уровня застройки, следовательно, зона обслуживания такой соты значительно меньше. В данном случае можно принять, что сигнал не будет сильно подвержен влиянию многолучевости, ввиду меньшего количества



отражений и влияния дифракции. Как результат, коэффициент ортогональности выше в микросотах, чем в зоне обслуживания макро-БС. В случае пикосот, или БС расположенных в помещениях, коэффициент ортогональности еще выше, так как обычно в таких случаях используется распределенная антенная система с множеством антенн, следовательно почти всегда антенна МС находится в прямой видимости от передающей антенны БС. Зависимость коэффициента ортогональности от типа БС отражена в таблице 10.

**Таблица 10 - Средние значения коэффициента ортогональности в зависимости от типа базовой станции.**

Тип БС	Макро	Микро	Пико
Коэффициент ортогональности	0.5-0.6	0.8	0.9

Выражение (24) для расчета предельной емкости соты, количество одновременных соединений (пользователей), может быть получено из формулы (23):

$$N_{\text{пр}} = \left( 1 + \frac{G_{\text{обр}}}{\frac{E_b}{N_0}} \cdot \frac{1}{v} \right) \cdot ((1 - \alpha) + i). \quad (24)$$

Данное выражение получается из, путем выражения  $N_{\text{пр}}$ , относительная загрузка соты принимается равной 1.

Для расчетов предельной емкости использовать следующие исходные данные  $E_b/N_0$ , дБ,  $i$ ,  $\alpha$ . представленные в таблицах 1; 6; 9,10 соответственно: Результаты расчетов привести в таблицу 11:

**Таблица 11 - Предельная емкость соты в нисходящей линии.**

Тип услуги, скорость передачи	Предельная емкость соты, количество одновременных соединений(пользователей)
.....	

**Расчет относительной загрузки соты в нисходящей и восходящей линии.**

Для расчета взяты значения из исходных данных о нагрузке создаваемой одним абонентом. Данные значения представлены в таблице 12:

**Таблица 12 - Нагрузка создаваемая одним абонентом в нисходящей и восходящей линиях.**

Тип услуги, скорость передачи	Нисходящая линия, нагрузка создаваемая одним абонентом, мЭрл	Восходящая линия, нагрузка создаваемая одним абонентом, мЭрл
Телефония, 12.2 кбит/с	20	20
Видеотелефония, 64 кбит/с	6	6
Передача данных, 144 кбит/с	8	3
Передача данных, 384 кбит/с	3	1

Относительная загрузка соты будет равна:

$$\eta = \sum_i^N \frac{M_i}{M_{i\text{пред}}}, \quad (25)$$

где

$\eta$  – относительная загрузка соты;

$N$  - количество предоставляемых услуг;

$M_i$  - среднее количество одновременно занятых каналов передачи для услуги  $i$ ;

$M_{i\text{пред}}$  - предельная емкость соты, количество одновременных соединений, для услуги  $i$ .

Произвести расчет отдельно для восходящей и нисходящей линий. При расчете используются значения  $M_{i\text{пред}}$ , определенные выше. В качестве значений  $M_i$  используется среднее количество одновременно занятых каналов передачи. Для трафика с коммутацией каналов (телефония, видео-телефония) среднее количество одновременно занятых каналов это трафик в Эрлангах. Для трафика с коммутацией пакетов (передача данных), передаваемый с условиями класса обслуживания Best effort, среднее количество одновременно занятых каналов это трафик в Эрлангах, умноженный на пикфактор  $PF=1,4$ ,

$$M_i = T_{[\text{Эрл}]} \cdot PF. \quad (26)$$

Величина загрузки из формулы (26) можно записать, как:

$$\eta := \frac{T1 \cdot N}{M1} + \frac{T2 \cdot N}{M2} + \frac{T3 \cdot N \cdot 1.4}{M3} + \frac{T4 \cdot N \cdot 1.4}{M4}, \quad (27)$$

где

$T1-T4$  - нагрузка создаваемая одним абонентом для услуг 1-4,

$M1-M4$  - предельная емкость соты (предельное количество одновременных соединений) для услуги,

$N$  - количество пользователей обслуживаемых сотой.

Для расчета примем, что количество пользователей, обслуживаемых сотой равно 200.

#### **Нисходящая линия:**

Таким образом, относительная загрузка соты в нисходящей линии, при заданном числе пользователей и данном профиле абонента равна  $\eta_{\text{нисх}} * 100\%$

#### **Восходящая линия:**

Относительная загрузка соты в восходящей линии при заданном числе пользователей и данном профиле абонента равной  $\eta_{\text{восх}} * 100\%$ .

### Контрольные вопросы и задания

1. Опишите архитектуру сети UMTS и ее основные компоненты.
2. Что такое расчетная нагрузка в сети UMTS и как она влияет на планирование сети?
3. Рассчитать необходимое количество базовых станций (Node B) для обеспечения покрытия в заданной области с учетом требуемой емкости.
4. Какие основные параметры качества связи необходимо учитывать при планировании сети UMTS?
5. Опишите процесс расчета радиуса зоны обслуживания базовой станции (Node B) в сети UMTS.
6. Выполнить расчет радиопокрытия для определенного района, используя данные о частоте, мощности передатчика и характеристиках антенны.
7. Какие методы используются для управления интерференцией в сети UMTS?
8. Опишите процедуру планирования емкости в сети UMTS и ее основные этапы.
9. Рассчитать требуемую емкость для покрытия заданной области с учетом прогнозируемого количества пользователей и среднего объема трафика.
10. Какие инструменты и программное обеспечение используются для планирования и оптимизации сети UMTS?

### Список рекомендованной литературы

1. Грищенко, С. Г. Проектирование сетей наземной радиосвязи, телевидения и радиовещания : учебное пособие / С. Г. Грищенко, Н. Н. Кисель. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. – 129 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598612>. – Текст : электронный.
2. Васяева, Н. С. Проектирование локальных вычислительных сетей: учебное пособие для курсового проектирования : учебное пособие / Н. С. Васяева, Е. С. Васяева ; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2019. – 94 с. – Режим доступа:

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=560566>. – Текст : электронный.

3. Котенко, В. В. Технологии информационного анализа пользовательского уровня телекоммуникационных систем : учебное пособие / В. В. Котенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. – 195 с. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=577870>. – Текст : электронный.

4. Акулиничев, Ю. П. Радиотехнические системы передачи информации : учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, А. С. Бернгардт ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР) ; Кафедра радиотехнических систем. – Томск : ТУСУР, 2015. – 196 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480583>. – Текст : электронный.

5. Усенко, О. А. Математические основы проектирования радиоэлектронных систем и комплексов : учебное пособие / О. А. Усенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2020. – 187 с. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=619060>. – Текст : электронный.

6. Никонов, В. И. Линии радиосвязи и методы их защиты : учебное пособие / В. И. Никонов, И. В. Никонов ; Омский государственный технический университет. – Омск : Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2021. – 96 с. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=700632>. – Текст : электронный.