

# 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

  
« 18 » 03



## ПРОЕКТ СЕТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM

Методические указания  
по выполнению курсового проекта  
по курсу «Проектирование сетей сотовой связи»  
для студентов направления подготовки 11.03.02

Курск 2021

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *В.Г. Андронов*

**Проект сети сотовой связи стандарта GSM:** методические указания по выполнению курсового проекта по курсу «Проектирование сетей сотовой связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Е.Севрюков. Курск, 2021. 22 с.

Содержат методические указания по выполнению курсового проекта «Проект сети сотовой связи стандарта GSM» по курсу «Проектирование сетей сотовой связи», разработанные на основе материалов Б.Н. Маглицкого и А.С.Сергеевой «Методические указания к выполнению курсовых проектов». – Новосибирск: Издательство СибГУТИ, 2015 г.

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, и рабочей программы дисциплины «Проектирование сетей сотовой связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *15.03* Формат 60x841/16.  
Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л.1,16. Тираж 100 экз. Заказ *461* . Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

**Методические указания  
к выполнению курсового проекта по системам сотовой связи**

Целью курсового проекта «Проект сети сотовой связи стандарта GSM» является закрепление знаний, приобретенных при изучении курса «Проектирование сетей сотовой связи», изучение принципов построения сетей стандарта GSM и усвоение методики расчета основных параметров сети сотовой связи.

**1 Исходные данные для курсового проекта**

Таблица 1 – Населенные пункты и полосы рабочих частот

№ варианта	Населенный пункт	Стандарт сотовой связи	Полосы частот, МГц	
			Uplink (АС →	Downlink (БС →
1	г. Щигры	GSM-900	1710-1785	1805 – 1880
2	г. Железногорск	GSM-900	890- 915	935 – 960
3	г. Дмитриев	GSM-1800	1710-1785	1805 – 1880
4	п.г.т. Кшенский	GSM-1800	890- 915	935 – 960
5	г. Курчатов	GSM-900	890- 915	935 – 960
6	г. Льгов	GSM-1800	1710-1785	1805 – 1880
7	г. Рыльск	GSM-900	890- 915	935 – 960
8	п.г.т. Поныри	GSM-1800	1710-1785	1805 – 1880
9	г. Курск	GSM-900	890- 915	935 – 960
10	г. Суджа	GSM-900	890- 915	935 – 960
11	г. Фатеж	GSM-1800	1710-1785	1805 – 1880
12	п.г.т. Пристенъ	GSM-1800	1710-1785	1805 – 1880
13	г. Обоянь	GSM-900	890- 915	935 – 960
14	п.г.т. Черемисиново	GSM-1800	1710-1785	1805 – 1880
15	п.г.т. Солнцево	GSM-900	890- 915	935 – 960

16	п.г.т. Коренево	GSM-1800	1710-1785	1805 –1880
17	п.г.т. Касторное	GSM-1800	1710-1785	1805 –1880
18	п.г.т. Тим	GSM-1800	1710-1785	1805 –1880
19	п.г.т. Золотухино	GSM-900	890- 915	935 – 960
20	п.г.т. Горшечное	GSM-1800	1710-1785	1805 –1880
21	п.г.т. Прямицыно	GSM-900	890 - 915	935 – 960
22	п.г.т. Конышёвка	GSM-1800	1710-1785	1805 –1880
23	п.г.т. Глушково	GSM-1800	1710-1785	1805 –1880
24	п.г.т. Медвенка	GSM-900	890- 915	935 – 960
25	п.г.т. Хомутовка	GSM-1800	1710-1785	1805– 1880

Таблица 2 - Технические параметры оборудования БС и МС

№ вари-анта	Высота антенны базовой станции, м	Базовая станция		Абонентская станция	
		Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, дБм	Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, дБм
1	25	28 Вт	- 111	1	- 100
2	20	10 Вт	- 105	2	- 104
3	22	20 Вт	- 105	1	- 104
4	29	25 Вт	- 110	1	- 90
5	30	20 Вт	- 100	1	- 90

Продолжение таблицы 2

№ №	Высота антенны базовой стан-	Базовая станция		Абонентская станция	
		Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, дБм	Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, дБм
6	40	30 Вт	- 104	2	-100

7	30	20 Вт	- 100	2	- 104
8	25	40 Вт	- 102	2	-100
9	18	30 Вт	- 102	1	- 104
10	30	20 Вт	- 110	1	- 90
11	22	28 Вт	- 105	2	- 104
12	15	35 Вт	- 112	1	- 100
13	35	40 Вт	- 100	2	- 104
14	40	30 Вт	- 104	1	- 100
15	20	50 Вт	- 100	2	- 90
16	25	30 Вт	- 95	2	- 104
17	32	40	- 102	1	- 100
18	30	28 Вт	- 100	2	- 104
19	28	17 Вт	- 102	2	- 90
20	40	25 Вт	- 100	1	- 104
21	33	45 Вт	- 100	2	- 90
22	20	25 Вт	-100	1	- 104
23	24	35 Вт	-104	1	- 100
24	28	30 Вт	- 100	2	- 104
25	32	35 Вт	- 101	1	- 100

Таблица 3 – Значения наработки на отказ и времени восстановления

№ варианта	Среднее время наработки на отказ $T_{cp}$ , тыс. час			Среднее время восстановления $T_B$ , час
	БС	Контроллер	Мультиплексор	
1	27	60	46	5

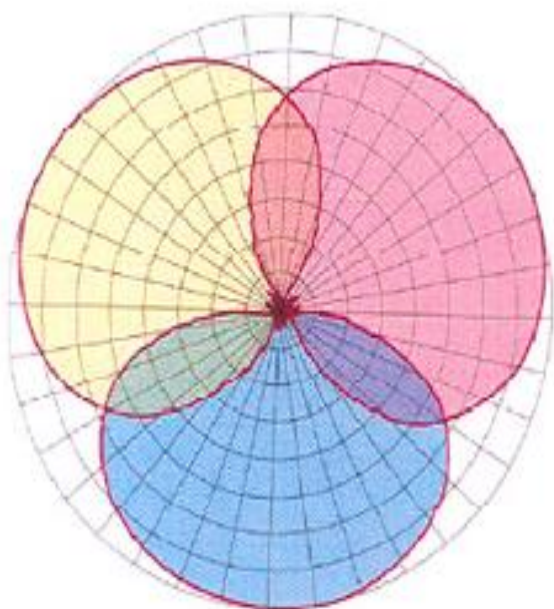
2	30	55	48	11
3	37	53	45	8
4	34	52	54	5
5	38	60	49	11
6	28	61	53	8
7	32	58	41	3
8	37	50	46	9
9	39	62	44	7
10	29	56	50	2
11	35	61	54	8
12	36	60	47	10
13	33	57	40	6
14	27	51	46	4
15	34	56	52	3
16	36	59	49	11
17	31	52	43	2
18	29	58	48	6
19	31	55	46	5
20	33	62	43	4

Продолжение таблицы 3

№№	Среднее время наработки на отказ $T_{ср}$ , тыс. час			Среднее время восстановления $T_{в}$ , час
	БС	Контроллер	Мультиплексор	
21	35	59	52	10

22	28	54	53	8
23	32	53	41	4
24	38	56	59	12
25	39	61	47	6

Таблица 4 – Основные параметры антенн базовых станций фирмы «KATHREIN»



Тип антенны	Ширина диаграммы направленности, град	Усиление, дБ	Диапазон рабочих частот, МГц
XPol A Panel	65	17	806-960
XPol A Panel	65	17	806-960
XPol F Panel	65	18	1710-1990
XPol F Panel	65	18	1710-2170

## 2 Требования к структуре курсового проекта

Курсовой проект должен содержать следующие материалы:

- титульный лист оформляется в соответствии с образцом, со всеми подписями;
- лист задания;
- реферат;
- содержание представляет собой перечень приведенных разделов и подразделов с указанием страниц;
- обозначения и сокращения;
- введение включает краткую характеристику целей и задач, решаемых в ходе курсового проектирования;
- основная часть, выполняемая в соответствии с методическими указаниями;
- Заключение. Выводы о достижении цели и выполнении задач курсового проектирования.
- Список использованных источников.
- Приложения (иллюстрации, таблицы, схемы и т.п.).

## 3 Оформление курсового проекта

*В листе задания на курсовой проект необходимо указать:*

Населенный пункт	
Стандарт сотовой связи	
Активность одного абонента в ЧНН, Эрл	0.015
Вероятность блокировки вызова	2%
Технические параметры базовой станции: - мощность передатчика базовой станции, дБВт - чувствительность приемника базовой станции, дБВт - высота подвеса антенны базовой станции, м - усиление антенны базовой станции, дБ	
Технические параметры мобильной станции: - мощность передатчика мобильной станции, дБВт - чувствительность приемника мобильной станции, дБВт - усиление антенны мобильной станции, дБ	
Число секторов в соте	3



Текст документа набирается на компьютере в формате .rtf или .doc (.docx) и печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297).

Размеры полей: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее и нижнее – 2 см.

Расстояние от края до нижнего колонтитула – 0,8 см, до верхнего колонтитула – 1,25 см.

#### *Оформление текста*

Выравнивание текста – по ширине. Шрифт – Times New Roman. Цвет шрифта – чёрный, размер шрифта – 14.

#### *Абзацы*

Текст работы печатается с абзацного отступа 1,25 см.

Междустрочный интервал – 1,5. Дополнительные отступы до и после абзацев не применяются.

По всему объему текста не применяется настройка «запрет висячих строк» (настройки абзаца – вкладка «Положение на странице» – снять настройку «запрет висячих строк»).

#### *Нумерация страниц*

Страницы курсового проекта нумеруются арабскими цифрами с соблюдением сквозной нумерацией по всей работе, от титульного листа, до последней страницы приложений. Номера страниц на титульном листе и задании не ставятся.

Номера страниц оформляются так же, как текст работы (шрифт – Times New Roman, цвет шрифта – чёрный, размер шрифта – 14) и располагаются в правом нижнем углу страницы, без точки.

#### *Заголовки структурных элементов, разделов, подразделов и пунктов*

Заголовки структурных элементов – реферат, содержание, обозначения и сокращения, введение, заключение, список использованных источников – печатается без абзацного отступа, в середине страницы, прописными буквами, с полужирным начертанием, без точки в конце. Пример:

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Заголовки всех приложений должны состоять из слова «приложение», напечатанного прописными буквами, порядковой буквы (используются буквы русского алфавита: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, К, Л, М, Н, П, Р, С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ш, Щ, Э, Ю, Я), типа приложения (обязательное, рекомендательное, справочное), а также названия данного приложения, напечатанного на следующей строке с заглавной буквы.

Все заголовки приложений печатаются без абзацного отступа, в середине страницы, с полужирным начертанием. Пример:

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А** (обязательное) **Схема устройства принципиальная**

Каждый структурный элемент и каждый раздел начинают с новой страницы.

Заголовки разделов, подразделов и пунктов КР (КП) следует начинать с абзацного отступа и размещать после порядкового номера, печатать с прописной буквы, полужирным шрифтом, не подчеркивать, без точки в конце.

Заголовок раздела (подраздела, пункта) должен быть отделен от основного текста раздела (подраздела, пункта) и от текста предыдущего раздела (подраздела, пункта) одинарным междустрочным интервалом 8 мм (1 пустая строка основного текста 14 pt).

Заголовки раздела и подраздела (подраздела и пункта), если они располагаются на соседних строках, не отделяются друг от друга пустой строкой.

#### *Рисунки: оформление, нумерация и расположение*

Рисунки располагаются без абзацного отступа, в середине страницы. После рисунка без абзацного отступа, в середине страницы указывается его порядковый номер и наименование в следующем виде: «Рисунок 1 – Модель взаимодействия открытых систем OSI/ISO».

Нумерация рисунков сквозная по всему основному тексту работы. При наличии большого количества рисунков допускается отдельная нумерация в каждом из разделов КР (КП). Нумерация рисунков в приложениях зависит от номера приложения и приводится в следующем виде «Рисунок А.1 – Модель взаимодействия открытых систем OSI/ISO».

Рисунок отделяется от основного текста одинарным междустрочным интервалом 8 мм (1 пустая строка основного текста 14 pt).

Подпись к рисунку так же отделяется от основного текста одинарным междустрочным интервалом 8 мм (1 пустая строка основного текста 14 pt).

Рисунок и подпись к нему не разделяются пустой строкой.

На каждый рисунок, расположенный в основном тексте работы, должна присутствовать ссылка.

Рисунок располагается после абзаца, в котором он был впервые упомянут. В случае если при таком размещении рисунок перемещается на следующую страницу, оставляя пустое место на предыдущей, необходимо перенести необходимое количество дальнейшего текста для заполнения пробела.

#### *Таблицы: оформление, нумерация, расположение и разрывы*

В таблице применяется следующее оформление текста: выравнивание текста – по ширине, шрифт – Times New Roman, цвет шрифта – чёрный, размер шрифта – 12, межстрочный интервал – 1,15.

Таблицы должны занимать всю ширину страницы. Перед таблицей без абзацного отступа, с начала строки указывается ее порядковый номер и наименование в следующем виде: «Таблица 1 – Сравнение скоростей передачи стандартов семейства Ethernet».

Нумерация таблиц сквозная по всему тексту работы. При наличии большого количества таблиц допускается отдельная нумерация в каждом из разделов отчета о практике. Нумерация таблиц в приложениях зависит от номера приложения и

приводится в следующем виде «Таблица А.1 – Сравнение скоростей передачи стандартов семейства Ethernet».

Подпись к таблице отделяется от основного текста одинарным междустрочным интервалом 8 мм (1 пустая строка основного текста 14 pt).

Таблица отделяется от основного текста одинарным междустрочным интервалом 8 мм (1 пустая строка основного текста 14 pt).

Таблица и подпись к ней не разделяются пустой строкой.

На каждую таблицу, расположенную в основном тексте работы, должна присутствовать ссылка.

Таблица располагается после абзаца, в котором она был впервые упомянута. В случае если при таком размещении часть таблицы не вмещается на странице и переносится на следующую, то она должна начинаться с заголовка «Продолжение таблицы 1».

#### *Формулы и расчеты: оформление, нумерация*

Формулы и расчеты располагаются в середине страницы, без абзацного отступа. Номера формул располагаются по правому краю страницы, в круглых скобках.

Формулы и расчеты отделяются от основного текста одинарным междустрочным интервалом 8 мм (1 пустая строка основного текста 14 pt). Несколько формул, расположенные подряд, не разделяются пустыми строками.

Размер буквенных обозначений в формуле соответствует размеру букв основного текста.

На каждую формулу должна быть ссылка в основном тексте работы.

Расшифровка формулы начинается со слова «где», каждый параметр размещается с новой строки, с абзацного отступа 1,25 см. Пример оформления формулы:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока в цепи, А;

$\varepsilon$  – ЭДС источника напряжения, В;

$R$  – сопротивление всех внешних элементов цепи, Ом;

$r$  – внутреннее сопротивление источника напряжения, Ом.

## **4 Рекомендации к выполнению разделов курсового проекта**

### *Введение*

В данном разделе необходимо рассмотреть общие вопросы сотовой связи, кратко охарактеризовать этапы эволюционного развития поколений сотовой связи и современное состояние технологий передачи данных в системах сотовой связи. В заключение раздела, дать краткую характеристику целей и задач, решаемых в ходе курсового.

#### *4.1 Теоретическая часть*

#### 4.1.1 Принципы построения сетей сотовой связи

Необходимо рассмотреть архитектуру и взаимодействие элементов сетей сотовой связи стандарта GSM.

#### 4.1.2 Краткая характеристика населенного пункта

Необходимо привести карту населенного пункта с указанием масштаба (пример показан на рисунке 4.1).

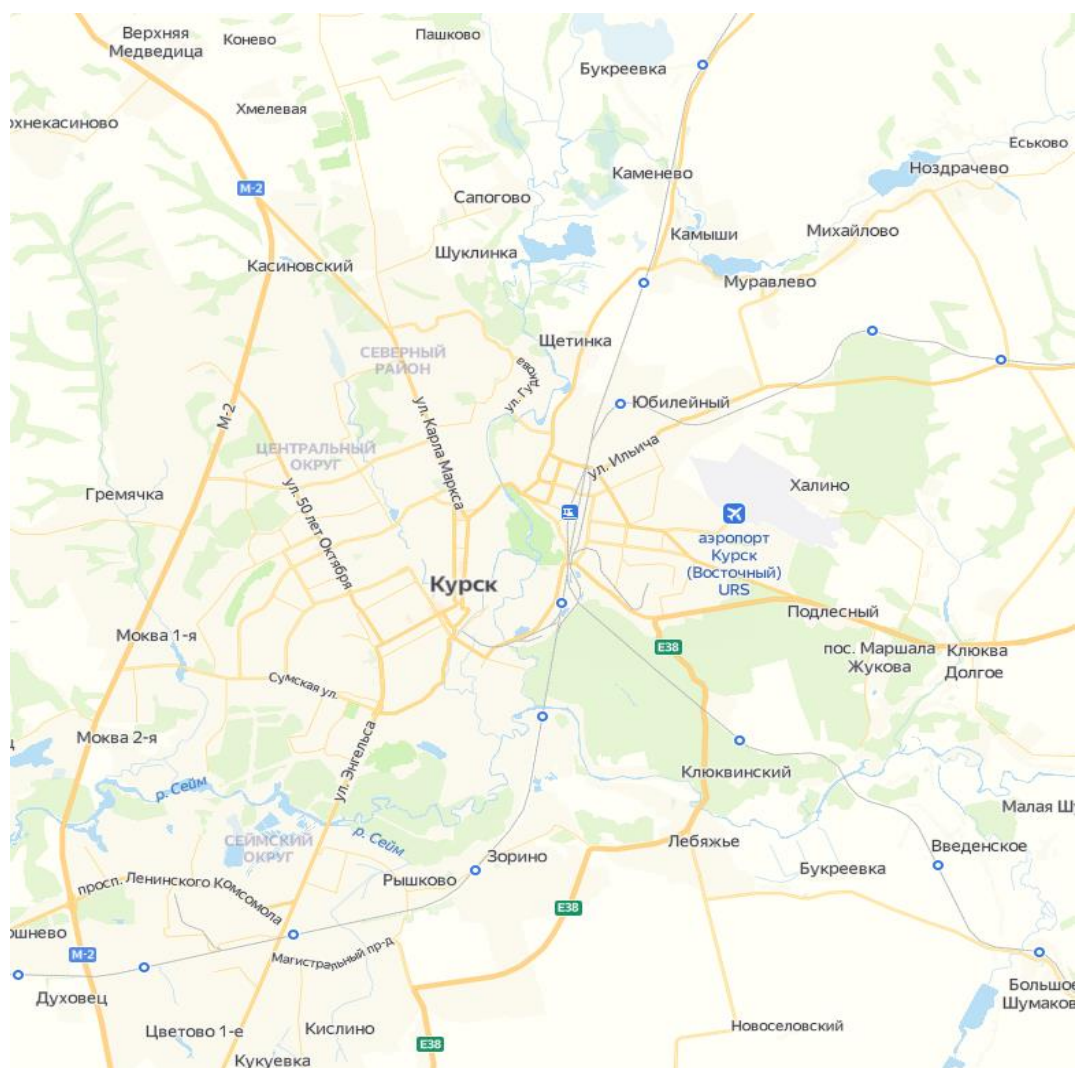


Рисунок 4.1 - Карта города Курска

Кроме того, дать краткую экономико-географическую характеристику населенного пункта и перспективы его развития.

Для выполнения курсового проекта необходима информация о площади населенного пункта, характере застройки и численности населения.

#### 4.2 Расчетная часть

##### 4.2.1 Методика расчета зоны обслуживания базовой станции

При проектировании системы радиосвязи определяющим фактором является

оценка ее эффективности. Для сетей подвижной радиосвязи это означает обеспечение радиообмена для любых абонентов с заданным качеством на пределе расчетной дальности. При этом понятие качества трактуется как предоставление канала связи с удовлетворительно низкой вероятностью отказа или чрезмерного ожидания, и достаточной разборчивостью при аналоговой телефонии, или достаточно малой вероятностью поэлементной ошибки при передаче цифровых каналов.

Данные многочисленных измерений, проведенные различными исследователями, показывают, что мощность сигнала на входе приемника  $P_{вх}$ , необходимая для обеспечения удовлетворительного качества приема, должна превышать пороговую мощность сигнала (чувствительность приемника).

Таким образом, с учетом внешних шумов в пределах некоторой территориальной зоны уровень мощности сигнала на входе приемника определяется выражением:

$$P_{вх} \geq P_{пор} + P_{ш}, \text{ дБВт.} \quad (4.1)$$

Значение чувствительности приемника  $P_{пор}$ , определяемая собственными шумами, как правило, приводится в паспорте приемника. Внешние шумы, поступающие на вход приемника, обусловлены паразитными излучениями высоковольтных ЛЭП, различного промышленного оборудования, а также шумами от систем автомобильного зажигания.

Расчет радиуса зоны обслуживания базовой станции проводится в следующей последовательности.

Для случая свободного пространства уровень мощности сигнала на входе приемника равен:

$$P_{св} = P_{нд\ BC} + G_{BC} + G_{MC} - A_{св}, \text{ дБВт}, \quad (4.2)$$

где  $P_{нд\ BC}$  – мощность сигнала на выходе передатчика базовой станции;  $G_{BC}$  и  $G_{MC}$  – усиление антенны базовой и мобильной станции соответственно, дБ;

$A_{св}$  – затухание сигнала в свободном пространстве, дБ, определяемое по выражению:

$$A_{св} = (4\pi R_0/\lambda)^2, \text{ дБ}, \quad (4.3)$$

где  $R_0$  – расстояние между БС и МС;

$\lambda$  – рабочая длина волны.

В реальных условиях пересечённой, неоднородной по своим электрофизическим свойствам местности, или на территории современных городов с их сложной архитектурной планировкой, предсказание уровня принимаемого сигнала, т.е. достоверный расчет затухания на трассе распространения с учетом различных факторов влияния, является сложной задачей.

Обусловлено это тем, что трассам между базовой и подвижными станциями практически всегда присущи явления искажений, рассеяния, поглощения энергии радиоволн различными объектами. Этим обусловлен эффект многолучевого распространения – главная причина замираний сигналов. Причем механизмы образования многолучевости случайно проявляются во времени и в пространстве. В наиболее общем случае, когда движется мобильная станция и, соответственно, случайно изменяются многочисленные отражающие и рассеивающие объекты, результирующий сигнал на входе приемника представляет собой векторную сумму всех парциальных волн с различным временем и углами прихода. Все это приводит к искажению формы принимаемого сигнала, изменению его параметров а, значит, к потере получаемой информации. Поэтому распространение радиоволн между объектами радиосвязи обычно описываются физическими и математическими моделями.

Изменения уровней сигналов на небольших площадях были исследованы японским ученым Окамура, который разработал статистическую модель, согласно которой уровень сигнала на выходе приемной антенны может быть определен с учетом параметров предполагаемой зоны обслуживания, а именно:

- степени пересеченности рельефа местности, определяемой перепадами высот на некоторой дистанции;
- характера местности на обслуживаемой территории (открытое пространство, сельская местность, пригород, город).

Однако расчет зоны обслуживания по методу Окамура предусматривает определение ее предполагаемых размеров в условиях прямой видимости между базовой и абонентской радиостанциями, и не учитывает естественных или искусственных препятствий на трассе БС – МС, определяющих явление областей тени, связь в которых невозможна. Поэтому расчеты по этой методике показывают лишь возможные границы зоны радиосвязи, а получение реальной картины обеспечивается дополнительными расчетами при наличии данных по застройке или препятствиях на исследуемой трассе.

Как уже было отмечено, условием устойчивой радиосвязи является выполнение на всей территории обслуживания неравенства (4.1).

Если предположить, что базовая станция располагается в центре зоны обслуживания и характер местности одинаков, то средний уровень мощности сигнала на выходе приемной антенны может быть определен следующим образом:

$$P_{np} = P_{св} - A_m(f, d) + H_m(h_1) + H_m(h_2), \text{ дБВТ}, \quad (4.4)$$

где  $A_m(f, d)$  – среднее значение затухания для городского района, зависящее от частоты сигнала  $f$  и расстояния  $d$  между МС и БС.

Определяется по зависимостям, приведенным на рисунке 4.2.

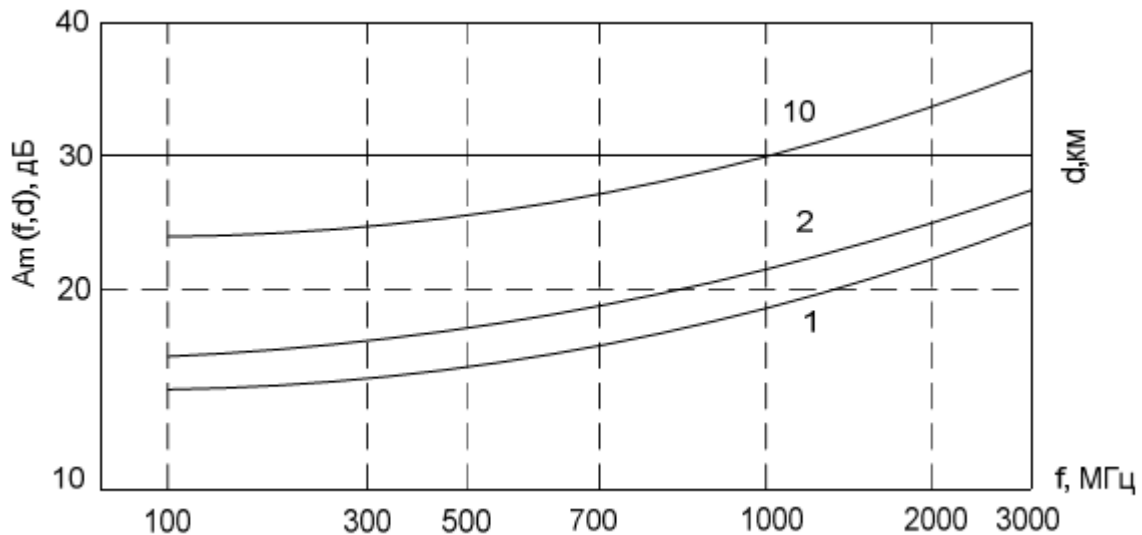


Рис. 4.2. Зависимости среднего значения затухания для квазигладкого городского района от частоты

$H_m(h_1)$  – поправочный коэффициент, учитывающий высоту подвеса антенны базовой станции  $h_1$ ;

$H_m(h_2)$  – поправочный коэффициент учитывающий высоту подвеса антенны МС  $h_2$ ;

$P_{св}$  – мощность сигнала на выходе приемной антенны при условии, что сигнал распространяется в свободном пространстве;

$$H_m(h_1) = 20 \cdot \lg(h_1/200)$$

$h_1$  – высота антенны БС в метрах;

$$H_m(h_2) = 10 \cdot \lg(h_2/3), \text{ при } h_2 < 3 \text{ м.}$$

$$H_m(h_2) = 20 \cdot \lg(h_2/3), \text{ при } h_2 > 3 \text{ м.}$$

Выражение (4.4) справедливо для условий городской застройки с умеренно пересеченным рельефом местности. В случае, если связь осуществляется при характере и рельефе местности, отличных от указанных, в выражении (4.4) учитываются дополнительные поправочные коэффициенты:

$$P_{np} = P_{св} - A_m(f, d) + H_m(h_1) + H_m(h_2) + k_1(f) - k_2(\Delta h), \text{ дБВТ}, \quad (4.5)$$

где  $k_1(f)$  – поправочный коэффициент учёта характера местности (открытое пространство, сельская местность, пригород, город). Значения коэффициента определяются по графикам на рисунке 4.3а;

$k_2(\Delta h)$  – поправочный коэффициент учёта степени пересечённости рельефа местности. Зависит от  $\Delta h$  – перепада высот на расстоянии 10 км. Определяется по графикам (рисунок 4.3б).

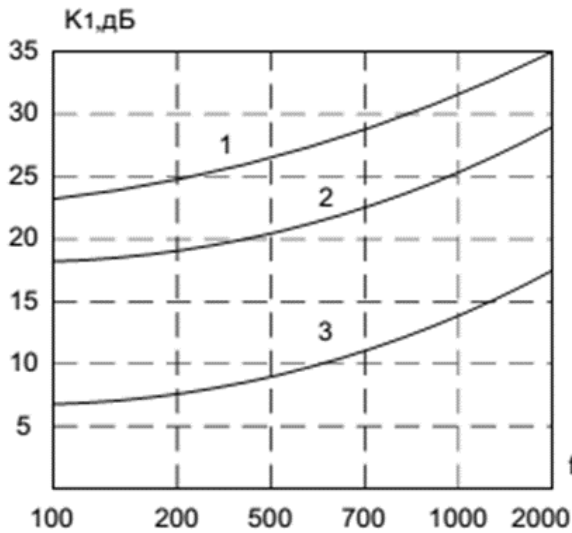


Рисунок 4.3а - Поправочный коэффициент учета характера местности (1 - открытое пространство; 2 - сельская местность; 3 - пригород)

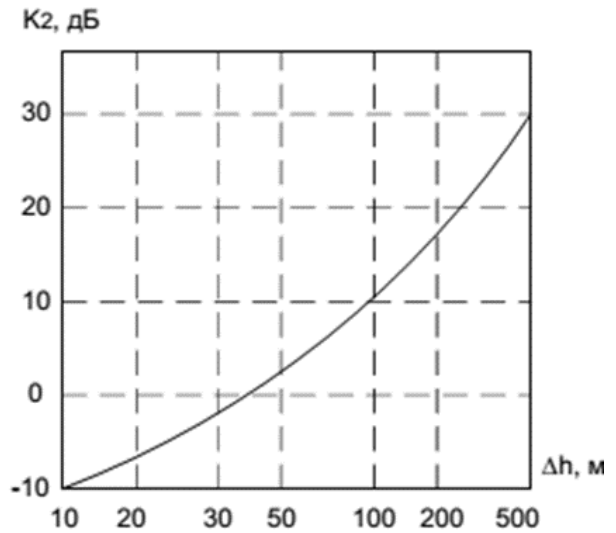


Рисунок 4.3б - Поправочный коэффициент учета степени пересеченности местности

При проведении расчетов необходимо учитывать быстрые и медленные замирания путем добавления к пороговому значению напряженности поля  $E_{пор}$  запаса по напряженности поля  $M$ , который определяется по формуле:

$$M = Z \delta_{общ} , \quad (4.6)$$

где  $Z$  – нормированное действующее значение напряженности поля в точке приема. Определяется из таблицы 4.1 для заданной вероятности  $S = 0.99$ .

Таблица 4.1 – Нормированные действующие значения напряженности поля в точке приема

S	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.99
Z	0	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645	2.326

Общее стандартное отклонение сигнала  $\delta_{общ}$  определяется как сумма стандартных отклонений от среднего уровня в условиях быстрых и медленных замираний по формуле:

$$\delta_{общ} = \sqrt{\delta_{бз}^2 + \delta_{мз}^2} , \quad (4.7)$$

где  $\delta_{бз}$  – стандартное отклонение сигнала в условиях быстрых замираний;  
 $\delta_{бз} = 5,6 \text{ В/м}$ ;



$\delta_{M3}$  – стандартное отклонение сигнала в условиях медленных замираний;  
 $\delta_{M3} = 10 \text{ В/м}$ .

$$M, \text{ дБ} = 20 \lg M. \quad (4.8)$$

Следовательно, чтобы связь была устойчива, необходимо выполнение условия:

$$P_{np} = P_{св} - A_m(f, d) + H_m(h1) + H_m(h2) + k1(f) - k2(\Delta h) + M, \text{ дБВТ}. \quad (4.9)$$

Расчет зоны уверенного приёма с целью получения реальной картины зоны обслуживания необходимо проводить по двум направлениям – от базовой станции к абонентской и от абонентской к базовой станции.

#### 4.2.2 Расчет числа обслуживаемых абонентов в соте

Для систем стандарта GSM в одном частотном канале организуется 8 физических каналов, которые распределяются между каналами трафика и каналами управления.

*Очевидно, что для трехсекторной соты число физических каналов равно 24. При этом два из них отводятся на каналы управления. Значит, в данном случае число каналов трафика равно 22.*

Расчет допустимого трафика, а следовательно, и максимального числа обслуживаемых абонентов при заданном числе каналов, является статистической задачей. Данный расчет производится с использованием формулы Эрланга, которая связывает число каналов трафика в соте  $N_k \text{ сот}$ , допустимый трафик в соте  $A_{\text{сот}}$  в эрлангах и вероятность отказа предоставления канала абоненту в час наибольшей нагрузки  $p_{\text{отк}}$ .

Формулы Эрланга табулированы (таблица 4.2). В сотовых сетях принято значение  $p_{\text{отк}} = 0.02$ .

Таблица 4.2 – Модель Эрланга для системы с отказами

Число каналов	Вероятность блокировки					
	0.1	0.5	1.0	2.0	5.0	10
Трафик (Эрланг)						
1	0.0010	0.0050	0.0101	0.0204	0.0526	0.1111
2	0.0458	0.1054	0.1526	0.2236	0.3813	0.5954
3	0.1938	0.3490	0.4555	0.6022	0.8994	1.271
4	0.4393	0.7012	0.8694	1.092	1.525	2.045
5	0.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881
6	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758

Продолжение таблицы 4.2

Число каналов	Вероятность блокировки					
	0.1	0.5	1.0	2.0	5.0	10
	Трафик (Эрланг)					
7	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666
8	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.997
9	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546
10	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511
11	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487
12	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474
13	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47
14	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47
15	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48
16	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50
17	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52
18	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55
19	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58
20	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61
21	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.05
22	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69
23	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74
24	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78
25	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83
26	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89
27	12.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94
28	15.18	17.41	18.64	20.16	22.87	26.00
29	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05
30	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11

При расчете в соответствии с числом каналов в соте по таблицам Эрланга находим допустимый трафик в соте  $A_{com}$ . Далее, задаваясь средним трафиком одного абонента в ЧНН (час наибольшей нагрузки)  $A_1 = 0,015-0,025$  Эрл, определяем допустимое число абонентов в соте  $N_{аб\ сот}$  по формуле (4.10):

$$N_{аб\ сот} = A_{com} / A_1. \quad (4.10)$$

Определяем число сот в городе по формуле (4.11):

$$Q_{com} = N_{аб} / N_{аб\ сот}. \quad (4.11)$$

В результате расчетов должна быть заполнена таблица 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчетов

Стандарт сотовой связи GSM – 900/1800	
Число секторов в соте	
Число частотных каналов в соте	
Число сот в сети	
Число абонентов в соте	
Площадь соты, км <sup>2</sup>	
Радиус соты, км	

#### 4.2.3 Расчет надежности сети сотовой связи

Одной из важнейших задач при проектировании сетей сотовой связи является разработка устройств и узлов, обеспечивающих выполнение всех возложенных на них функций в течение длительного срока службы оборудования. Решение этой проблемы возможно только при комплексном решении вопросов надежности на всех стадиях проектирования и эксплуатации.

##### *Основные понятия*

*Надежность* – это свойство системы обеспечивать нормальное выполнение заданной функции, обеспечивать первоначальные технические характеристики в течение определенного времени в заданных пределах допуска.

Надежность характеризуется: – безотказностью; – ремонтпригодностью; – долговечностью.

*Безотказность* – свойство системы непосредственно сохранять работоспособность в определенных условиях и режимах эксплуатации.

*Ремонтпригодность* – свойства системы, заключающиеся в приспособленности к предупреждению и устранению отказов путем планового технического обслуживания и ремонта.

*Долговечность* – свойство системы сохранять работоспособность в перерывах между плановым техническим обслуживанием и ремонтом до предельного состояния.

В основе понятия надежности лежит понятие отказа. *Отказ* – нарушение работоспособности системы, заключающееся в прекращении выполнения заданных функций или выходе рабочих показателей за заданные пределы. Для аппаратуры передачи данных характерны отказы различного типа – внезапные

и постепенные, полные и частичные, самоустраняющиеся и устойчивые.

Сбой в работе сети сотовой связи может быть вызван различными причинами: обрывом линий связи, выходом из строя оборудования и некоторыми другими.

Однако для пользователей услуг не имеет значения, вследствие чего пропадает связь.

В рамках соглашения о качестве обслуживания абоненту должен быть гарантирован определенный, достаточно большой промежуток времени, в течение которого показатели качества обслуживания не будут ниже заданных. Простои, вызванные сбоями в работе сети, могут сопровождаться огромными потерями прибыли. Таким образом, актуальными являются вопросы сокращения времени простоя, оценка потерь, вызванных простоями, и оценка затрат на минимизацию этих потерь.

### *Количественная оценка параметров надежности*

Для решения поставленных задач возникает необходимость в количественной оценке надежности. С этой целью в теории надежности вводятся количественные характеристики и устанавливается связь между ними, разрабатываются методы, позволяющие анализировать физические причины отказов и прогнозировать надежность.

Речь идет о выборе методов и средств обеспечения работы систем с максимальной эффективностью.

*Время наработки на отказ  $T_n$  и среднее время восстановления после сбоя  $T_v$*  являются основными параметрами, которые следует учитывать при решении задачи обеспечения надежного и стабильного сервиса.

*Среднее время восстановления* – среднее время, необходимое для возобновления нормальной работы системы.

*Наработка на отказ* – среднее время между отказами восстанавливаемых изделий.

Значения времени наработки на отказ и среднего времени восстановления для каждого варианта приведены в исходных данных на проектирование (п 1). Используя эти данные, необходимо определить надежность системы.

### *Параметры безотказности:*

- интенсивность отказов системы;
- наработка на отказ системы;
- вероятность безотказной работы.

*Интенсивность отказов* – вероятность отказов в единицу времени.

Зная  $T_{ср}$  каждого элемента системы, можно определить интенсивность отказов  $\lambda$ ,  $1/ч$ , каждого элемента по формуле (4.12)

$$\lambda = 1/T_{ср} \quad (4.12)$$

и всей системы в целом по формуле (4.13):

$$\lambda(t)_c = \sum \lambda_i, \quad (4.13)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказов каждого элемента системы.

Зная интенсивность отказов всей системы, необходимо определить наработку на отказ системы по формуле (4.14):

$$T_{cp.c} = 1 / \lambda_c \quad (4.14).$$

*Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в течение заданного времени не произойдет отказа в системе.

Вероятность безотказной работы определяется по формуле (4.15):

$$P_c(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.15)$$

где  $t$  – время испытания, час;

$\lambda$  – интенсивность отказов системы.

Время испытания должно принимать следующие значения: 24, 720, 2172, 8760 часов.

Расчет вероятности отказа необходимо произвести при различных значениях времени испытания  $t$  и по данным расчетам построить кривую безотказности  $P(t)$ .

*Параметры ремонтпригодности:*

- среднее время восстановления;
- коэффициент готовности;
- коэффициент простоя.

Используя параметры надежности  $T_{cp}$  и  $T_v$ , можно вычислить коэффициент доступности услуг  $K_D$  (коэффициент готовности  $K_2$ ).

*Коэффициент готовности* – вероятность того, что система будет в работоспособном состоянии в любой момент времени в промежутках между выполнением профилактического обслуживания или ремонта.

Коэффициент готовности определяется по формуле(4.16):

$$K_2 = T_{cp} / (T_{cp} + T_v), \quad (4.16)$$

где  $T_{cp}$  – среднее время наработки на отказ системы;

$T_v$  – время восстановления системы.

Время восстановления системы рассчитывается по формуле (4.17):

$$T_v = T_{об} + T_{д} + T_y + T_n, \quad (4.17)$$

где  $T_{об}$  – время обнаружения неисправности;

$T_{д}$  – время на доставку к месту восстановления вышедшего из строя элемента системы;

$T_y$  – время на устранение повреждения;

$T_n$  – время на настройку и проверочные испытания.

*Коэффициент простоя* учитывает все простои аппаратуры, вызванные техническим обслуживанием, но без учета простоев по организационным причинам.

Коэффициент простоя рассчитывается по формуле (4.18):

$$K_{п} = 1 - K_{г} \quad (4.18).$$

В результате расчетов должна быть заполнена таблица 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчета надежности системы

Интенсивность отказов системы $\lambda_c$ , 1/ч	Наработка на отказ системы $T_{ср}$ , час	Вероятность безотказной работы				$T_B$	$K_{г}$	$K_{п}$
		t=24	t=720	t=2172	t=8760			

Расчетные параметры необходимо сравнить с нормативными показателями и сделать выводы о состоянии надежности системы.

Нормативные показатели системы:

– наработка на отказ системы  $T_{ср}$  **должна быть не менее 350 суток**;

– коэффициент готовности системы  $K_{г}$  **должен быть не менее 0,99**.

### 3.4.3 Заключение

*Приводятся выводы по результатам расчетов.*

### 3.4.4 Список использованных источников