|  |
| --- |
| **СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**  **Методические указания к выполнению курсового проекта**  ***«Проект сети сотовой связи стандарта GSM»*** |

**СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

**1 Цель курсового проекта**

Целью курсового проекта «Проект сети сотовой связи стандарта GSM» по дисциплине «Системы связи с подвижными объектами» является закрепление знаний, приобретенных при изучении раздела курса «Системы сотовой связи», изучение принципов построения сотовых сетей на примере стандарта GSM и усвоение методики расчета основных параметров сети сотовой связи.

**2 Оформление курсового проекта**

Пояснительная записка оформляется в соответствии с принятыми требованиями в СибГУТИ. В начале пояснительной записки помещается задание и оглавление. Рубрикация должна соответствовать пунктам задания. Все расчеты производят по формулам, которые записывают сначала в общем виде с указанием условных обозначений и размерностей, нумеруют по порядку и снабжают ссылками на источники. Список литературы приводится в конце проекта.

Страницы, рисунки и таблицы должны быть пронумерованы.

*Вариант задания выбирается по последним двум цифрам пароля.*

**3 Исходные данные для курсового проекта**

Таблица 3.1 – Населенные пункты и полосы рабочих частот

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Последние цифры пароля  Последние  цифры пароля | Населенный  пункт | Стандарт  сотовой  связи | **Полосы частот, МГц** | |
| Uplink  (АС → БС) | Downlink  (БС → АС) |
| 01 | г. Бийск | GSM-900 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 02 | г. Кемерово | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 03 | г. Северск (ЗАТО) | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 04 | п.г.т. Березовка | GSM-1800 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 05 | г. Кисилевск | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 06 | г. Прокопьевск | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 07 | г. Стрежевой | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 08 | п.г.т. Шушенское | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 09 | г. Канск | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 10 | г. Норильск | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 11 | г. Колпашево | GSM-1800 | 710-1785 | 1805 –1880 |
| 12 | п.г.т. Емельяново | GSM-1800 | 710-1785 | 1805 –1880 |
| 13 | г. Железногорск | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 14 | г. Рубцовск | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 15 | г. Асино | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 16 | п.г.т. Благовещенка | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 17 | г. Юрга | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 18 | г. Анжеро-Судженск | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 19 | г. Ачинск | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 20 | г. Боготол | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |

Продолжение таблицы 3.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 21 | г. Дивногорск | GSM-900 | 890 - 915 | 935 – 960 |
| 22 | г. Славгород | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 23 | г.. Белово | GSM-1800 | 1710-1785 | 1805 –1880 |
| 24 | г. Горно-Алтайск | GSM-900 | 890- 915 | 935 – 960 |
| 25 | г.. Енисейск | GSM-1800 | 1710-1785 | 1. – 1880 |

Таблица 3.2 - Технические параметры оборудования БС и МС

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последние  цифры пароля | Высота  антенны  базовой  станции, м | **Базовая станция** | | **Мобильная станция** | |
| Мощность  передат-чика, Вт | Чувствитель- ность прием-  ника, дБм | Мощность  передатчи-  ка, Вт | Чувствитель-  ность прием-  ника, дБм |
| 01 | 25 | 28 Вт | - 111 | 1 | - 100 |
| 02 | 20 | 10 Вт | - 105 | 2 | - 104 |
| 03 | 22 | 20 Вт | - 105 | 1 | - 104 |
| 04 | 29 | 25 Вт | - 110 | 1 | - 90 |
| 05 | 30 | 20 Вт | - 100 | 1 | - 90 |
| 06 | 40 | 30 Вт | - 104 | 2 | -100 |
| 07 | 30 | 20 Вт | - 100 | 2 | - 104 |
| 08 | 25 | 40 Вт | - 102 | 2 | -100 |
| 09 | 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 |

Продолжение таблицы 3.2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 3.3 – Значения перепада естественных препятствий ∆h, м

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Последние  цифры пароля | Направления | | | |
| Север | Юг | Запад | Восток |
| 01 | 50 | 30 | 100 | 70 |
| 02 | 50 | 60 | 75 | 40 |
| 03 | 45 | 55 | 75 | 30 |
| 04 | 20 | 40 | 60 | 55 |
| 05 | 30 | 20 | 45 | 40 |
| 06 | 25 | 100 | 75 | 60 |
| 07 | 35 | 60 | 75 | 40 |
| 08 | 50 | 80 | 65 | 20 |
| 09 | 30 | 60 | 55 | 45 |
| 10 | 50 | 30 | 100 | 70 |
| 11 | 50 | 30 | 100 | 70 |
| 12 | 50 | 60 | 75 | 40 |
| 13 | 45 | 55 | 75 | 30 |
| 14 | 20 | 40 | 60 | 55 |
| 15 | 30 | 20 | 45 | 40 |
| 16 | 25 | 100 | 75 | 60 |
| 17 | 35 | 60 | 75 | 40 |
| 18 | 50 | 80 | 65 | 20 |
| 19 | 30 | 60 | 55 | 45 |
| 20 | 50 | 30 | 100 | 70 |
| 21 | 50 | 60 | 75 | 40 |

Продолжение таблицы 3.3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 22 | 20 | 40 | 75 | 30 |
| 23 | 45 | 60 | 70 | 40 |
| 24 | 30 | 20 | 45 | 40 |
| 25 | 50 | 80 | 65 | 20 |

Таблица 3.4- Значения наработки на отказ и времени восстановления

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Последние цифры  пароля | Среднее время наработки на отказ Тср, тыс. час | | | Среднее время восстановления Тв, час |
| БС | Контроллер | Мультиплексор |
| 01 | 27 | 60 | 46 | 5 |
| 02 | 30 | 55 | 48 | 11 |
| 03 | 37 | 53 | 45 | 8 |
| 04 | 34 | 52 | 54 | 5 |
| 05 | 38 | 60 | 49 | 11 |
| 06 | 28 | 61 | 53 | 8 |
| 07 | 32 | 58 | 41 | 3 |
| 08 | 37 | 50 | 46 | 9 |
| 09 | 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 |
| 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 3.5 – Основные параметры антенн базовых станций фирмы

«KATHREIN»

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип антенны | Ширина диаграммы направленности, град | Усиление, дБi | 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 |

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

4.1 Содержание разделов курсового проекта

*Задание на курсовой проект*

|  |  |
| --- | --- |
| Населенный пункт………………………………………… |  |
| Стандарт сотовой связи…………………………………. |  |
| Активность одного абонента в ЧНН, Эрл…………….. | 0.015  (для всех вариантов) |
| Вероятность блокировки вызова………………………. | 2%  (для всех вариантов) |
| 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, дБi………. |  |
| Значения перепада естественных препятствий ∆h, м  - Север……………………………………………………….  - Юг…………………………………………………………..  -Запад……………………………………………………….  - Восток…………………………………………………….. |  |
| Размерность кластера | 3  (для всех вариантов) |

*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 должна быть сформулирована цель курсового проекта.

*1 Принципы построения сетей сотовой связи*

В данном разделенеобходимо рассмотреть архитектуру и взаимодействие элементов сетей сотовой связи стандарта GSM. Результат оформить в виде рисунка, снабженного достаточно полными пояснениями.

*2 Краткая характеристика населенного пункта*

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

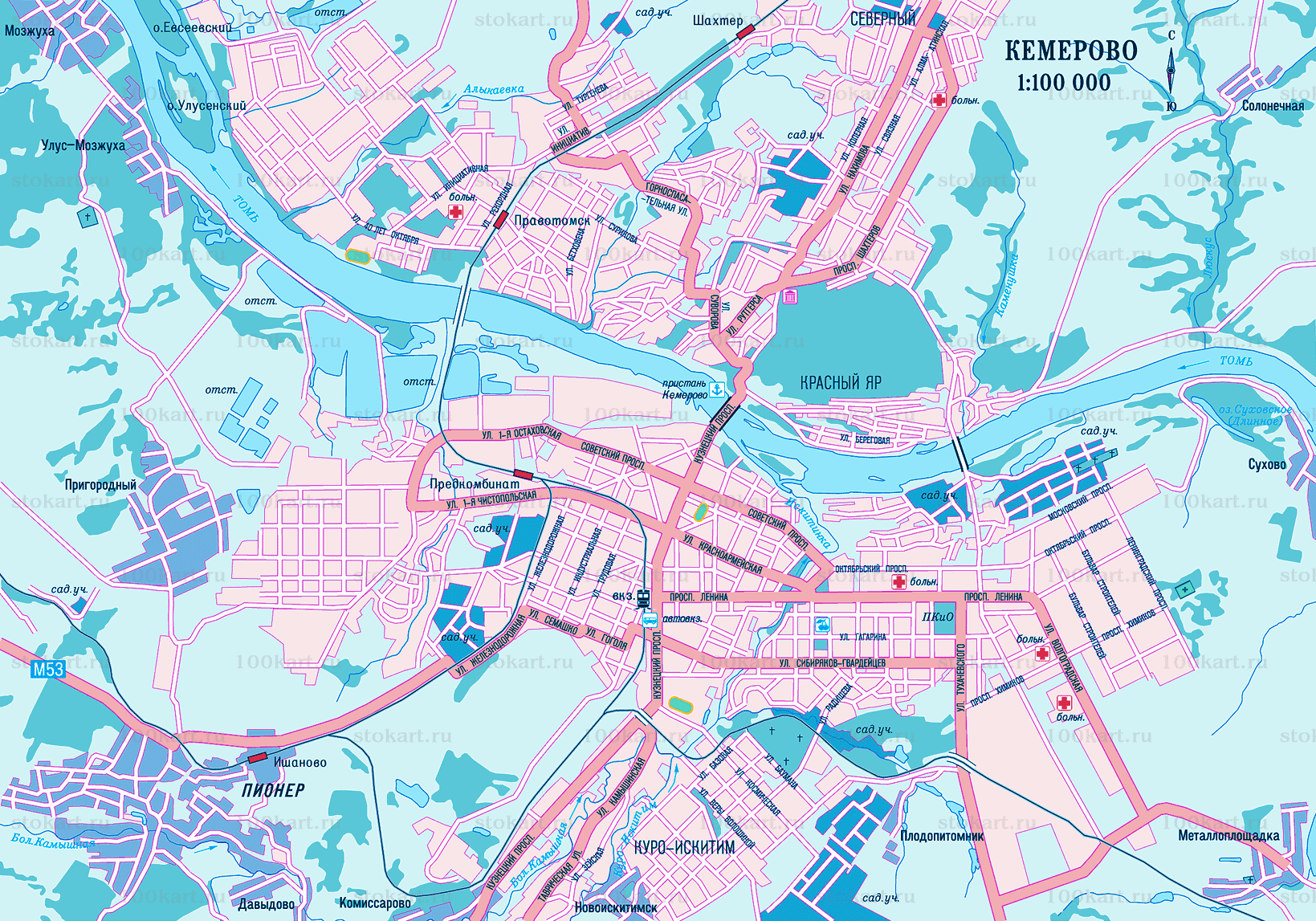


Рисунок 4.1 – Карта города Кемерово

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

*Для выполнения курсового проекта необходима информация о площади территории населенного пункта, характере застройки (открытое пространство, город, пригород, сельская местность) и численности населения.*

*3 Расчет зоны обслуживания базовой станции*

*3.1 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 *Рвх,* необходимая для обеспечения удовлетворительного качества приема, должна превышать пороговую мощность сигнала *Рпор* (чувствительность приемника).

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

*Рвх ≥ Рпор + Рш , дБВт* (3.1)

Значение чувствительности приемника *Рпор* определяется его собственными шумами и 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.

*При выполнении курсового проекта шумы внешнего происхождения не учитываются.*

Расчет радиуса зоны обслуживания базовой станции для одного направления проводится по *методу Окамуры.* *Другие методики расчета приведены в теоретическом разделе изучаемой дисциплины.*

Результатом расчета является определение радиуса зоны обслуживания в заданном направлении.

На практике расчет зон обслуживания базовых станций производится, как минимум, для 16-ти направлений.

***При учебном проектировании*** ***расчеты должны быть выполнены в 4-х направлениях (Север, Юг, Восток, Запад) для 2-х случаев (базовая станция - мобильная станция и мобильная станция - базовая станция) !!***

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

*Рсв = Рпд БС + GБС + GМС – Aсв , дБВт* , (3.2)

где: *Рпд БС –* уровеньмощности сигнала на выходе передатчика базовой станции;

*GБС и GМС –* усиление антенн базовой и мобильной станции

соответственно, дБ;

*Aсв* – затухание сигнала в свободном пространстве, дБ, определямое по выражению:

*Aсв = (4πR0/λ)2, дБ* (3.3)

где: *R0* – расстояние между БС и МС;

*λ –* рабочая длина волны.

*При расчете длины волны необходимо использовать верхние граничные частоты заданных полос частот (таблица 3.1).*

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 - главной причины 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 (3.1).

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

*Рпр = Рсв – Am (f, d) + Hm(h1) + Hm(h2), дБВТ*  (3.4)

где: *Am(f,d)* - среднее значение затухания для городского района, зависящее от частоты сигнала *f* и расстояния *d* между МС и БС.

Данный параметр определяется по зависимостям, приведен-ным на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 - Зависимости среднего значения затухания для

квазигладкого городского района от частоты

*Hm(h1)* - поправочный коэффициент, учитывающий высоту

подвеса антенны базовой станции hБС;

*Hm(h2)* - поправочный коэффициент учитывающий высоту

подвеса антенны МС *hМС;*

*Рсв* – уровень мощности сигнала на выходе приемной антенны

при условии, что сигнал распространяется в

свободном пространстве.

*Hm(h1)*  *= 20\*lg(h1/200)*

*hl* - высота подвеса антенны БС в метрах;

*Hm(h2) = 10\*lg(h2/3),* *при h2 < 3м.*

*Hm(h2) = 20\*lg(h2/3),* *при h2 > 3м.*

Выражение (3.4) 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 (3.4) учитываются дополнительные поправочные коэффициенты:

*Рпр = Рсв – Am (f, d) + Hm(h1) + Hm(h2) + k1(f) + k2(∆h), дБВТ* (3.5)

где: *k1(f)* - поправочный коэффициент учёта характера местности (открытое пространство, сельская местность,

пригород, город). Значения коэффициента

определяются по графикам на рисунке 3.2;

*k2(∆h)* - поправочный коэффициент учёта степени

пересечённости рельефа местности.

Зависит от ∆h - перепада высот на расстоянии

до 10 км. Определяется по графикам (рисунок 3.3).



Рисунок 3.2 - Поправочный коэффициент Рисунок 3.3 - Поправочный

учета характера местности коэффициент учета

степени

(1 - открытое пространство; пересеченности местности

2 - сельская местность; 3 - пригород)

При проведении расчетов необходимо учитывать быстрые и медленные замирания путем добавления к пороговому значению напряженности поля *Епор* запаса по напряженности поля *М,* который определяется по формуле:

*М = Z δобщ* (3.6)

где: Z - нормированное действующее значение напряженности поля в точке приема. Определяется из таблицы 3.5 для заданной вероятности *S = 0.99.*

Таблица 3.5 - 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 *δобщ* определяется как сумма стандартных отклонений от среднего уровня в условиях быстрых и медленных замираний по формуле:

 (3.7)

где: δбз - стандартное отклонение сигнала в условиях быстрых

замираний,

δбз = 5,6 В/м;

δмз - стандартное отклонение сигнала в условиях медленных

замираний,

δмз = 10 В/м.

*М, дБ = 20 lgМ*  (3.8)

Следовательно:

*Рпр = Рсв – Am (f, d) + Hm(h1) + Hm(h2) +k1(f) + k2(∆h), дБВТ* (3.9)

*Таким образом, для обеспечения устойчивой радиосвязи в пределах зоны обслуживания БС необходимо выполнение условия:*

*Рпр ≥ Рпор + М, дБВт* (3.10)

*По результатам расчета на карте территории населенного пункта размещаются базовые станции и изображаются их зоны обслуживания.*

3.2 Пример расчета зоны обслуживания базовой станции

*Исходные данные для расчета в южном направлении:*

1. Перепад естественных препятствий ,
2. Условия распространения сигнала – пригород, так как в данном населенном пункте преобладают строения малой этажности
3. HБС =100 м, hMС =1,5 м
4. Уровень передачи БС РПД БС =16 дБВт
5. Уровень передачи MS РПД МС = 1 Вт, что соответствует 0 дБВт;
6. Чувствительность приемника БС Рпор БС = - 135 дБВт;
7. Чувствительность приемника MС Рпор MС = - 128 дБВт;
8. Коэффициент усиления антенны БС G БС = 11,5 дБi;
9. Коэффициент усиления антенны MS G MS = 0 дБi;

10.Запас на замирания М = 20 дБ.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6– Расчет зоны обслуживания в направлении от БС к MС

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Направления  Параметры | Юг | | | Запад | | | Север | | | | | Восток | | |
| R, км | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 8 | | 3 | 5 | 8 | 3 | | 5 | 8 |
| Рпд, дБ | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | | 16 | 16 | 16 | 16 | | 16 | 16 |
| АСВ, дБ | 107 | 111 | 116 | 107 | 111 | 116 | | 107 | 111 | 116 | 107 | | 111 | 116 |
| Am, дБ | 27 | 30 | 35 | 27 | 30 | 35 | | 27 | 30 | 35 | 27 | | 30 | 35 |
| h1эф, м | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 |
| Hm(h1) , дБ | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | | -6 | -6 | -6 | -6 | | -6 | -6 |
| Hm(h2) , дБ | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | | -3 | -3 | -3 | -3 | | -3 | -3 |
| ∆h, м | 50 | 50 | 50 | 30 | 30 | 30 | | 100 | 100 | 100 | 70 | | 70 | 70 |
| К1, дБ | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | | 15 | 15 | 15 | 15 | | 15 | 15 |
| К2, дБ | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | | -6 | -6 | -6 | -1,2 | | -1,2 | -1,2 |
| Рпр MS, дБВт | -96 | -103 | -114 | -93 | -101 | -112 | | -102 | -110 | -121 | -98 | | -105 | -116 |
| М, дБ | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | 20 | 20 | 20 | 20 | | 20 | 20 |
| Р пор + М,дБВт | -128+20= -108 | | | | | | | | | | | | | |

На основании проведенных расчетов для южного направления условие (3.10) выполняется при R = 5 км:

Рпр МС = - 103 ≥ - 108, дБВт

*Таким образом, на расстоянии R = 5 км уровень сигнала на входе приемника МС превышает его чувствительность с учетом запаса на замирания.*

Для нахождения оптимального радиуса зоны обслуживания БС в южном направление необходимо рассчитать уровни сигнала ещё в нескольких точках (разных R). Расчет производится аналогичным образом.

Для окончательного выбора радиуса зоны обслуживания необходимо рассчитать уровень сигнала в точке приема при обратном направлении от MС к БС. Расчет производится аналогично выше приведенному с учетом величины излучаемой мощности мобильной станции и чувствительности приемника базовой станции (Таблица 3.6).

Таблица 3.7 – Расчет зоны обслуживания в направлении от MС к БС

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Направления  Параметры | Юг | | | | Запад | | | | Север | | | Восток | | | |
| R, км | 3 | 5 | 8 | 3 | | 5 | 8 | 3 | | 5 | 8 | | 3 | 5 | 8 |
| Рпд, дБ | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| АСВ, дБ | 107 | 111 | 116 | 107 | | 111 | 116 | 107 | | 111 | 116 | | 107 | 111 | 116 |
| Am, дБ | 27 | 30 | 35 | 27 | | 30 | 35 | 27 | | 30 | 35 | | 27 | 30 | 35 |
| Hm(h1) , дБ | -42 | -42 | -42 | -42 | | -42 | -42 | -42 | | -42 | -42 | | -42 | -42 | -42 |
| Hm(h2) , дБ | 30 | 30 | 30 | 30 | | 30 | 30 | 30 | | 30 | 30 | | 30 | 30 | 30 |
| ∆h, м | 50 | 50 | 50 | 30 | | 30 | 30 | 100 | | 100 | 100 | | 70 | 70 | 70 |
| К1, дБ | 15 | 15 | 15 | 15 | | 15 | 15 | 15 | | 15 | 15 | | 15 | 15 | 15 |
| К2, дБ | 0 | 0 | 0 | 3 | | 3 | 3 | -6 | | -6 | -6 | | -1,2 | -1,2 | -1,2 |
| Рпр БС, дБВт | -113 | -120 | -131 | -110 | | -117 | -128 | -118 | | -126 | -137 | | -114 | -121 | -132 |
| Р пор + М, дБВт | -135+20= -115 | | | | | | | | | | | | | | |

Таким образом, в данном случае условие (3.10) в южном направлении выполняется только на расстоянии 3 км.

Рпр БС = - 113 ≥ - 115, дБВт

На основании проведенных расчетов выбирается оптимальное расстояние между БС и MС для каждого азимутального направления Rи определяется оптимальная зона обслуживания БС.

В заключение данных расчетов необходимо разместить базовые станции на территории населенного пункта *(принять процент покрытия территории населенного пункта равным 60%).*

Пример построения зон обслуживания БС показан на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Пример размещения БС

Места установки базовых станций привязываются к существующим АТС для упрощения выхода в местную сеть общего пользования.

4 *Расчет числа обслуживаемых абонентов в сети сотовой связи*

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 *Nк сот,* допустимый трафик в соте *Асот* в эрлангах и вероятность отказа предоставления канала абоненту в час наибольшей нагрузки *ротк.*

Формулы Эрланга табулированы (таблица 3.8). В сотовых сетях принято значение *ротк = 0.02.*

Таблица 3.8 – 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 |
| 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 | 12.47 | 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 *Асот.* Далее, задаваясь средним трафиком одного абонента в ЧНН (час наибольшей нагрузки) *А1 = 0,015–0,025* Эрл, определяем допустимое число абонентов в соте *Nаб сот* по формуле:

*Nаб сот* *= Асот /А1*

Зная число сот в сети сотовой связи, определяем число обслуживаемых абонентов:

*Nаб = Qсот Nаб сот,*

По результатам данного расчета необходимо определить процент обслуживаемых абонентов на территории населенного пункта.

# 5 *Расчет защитного отношения*

5.1 *Общие сведения*

Основной идеей, на которой базируется принцип сотовой связи, является *повторное использование частот в несмежных сотах.* Первым способом организации повторного использования частот, который применялся в аналоговых системах сотовой подвижной связи первого поколения, был способ, использующий антенны базовых станций с круговыми диаграммами направленности. Он предполагает передачу сигнала одинаковой мощности по всем направлениям, что для абонентских станций эквивалентно приему помех от всех базовых станций со всех направлений.

*Сотовая топология позволяет многократно увеличить абонентскую емкость системы по сравнению с системами радиальной структуры и охватить сколь угодно большую зону обслуживания без ухудшения качества связи и расширения выделенного частотного диапазона.*

Вместе с тем использование сотового принципа построения предполагает и ряд усложнений, касающихся определения текущего местоположения мобильного абонента и обеспечения непрерывности связи при перемещении его из одной соты в другую. Соответствующая процедура получила название *эстафетной передачи*(англ.*Handoff*или*handover).*

Высокая спектральная эффективность в этом случае достигается ценой максимально частого повторного использования одних и тех же частотных полос, и с этой точки зрения наиболее предпочтительным был бы трехсотовый (или трехэлементный) кластер. Пример сотовой сети с 3-х элементными кластерами показан на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Пример сети сотовой связи с 3-х

элементными кластерами

Кроме того, каждой из сот кластера данного типа отводится частотная полоса, равная трети полного частотного диапазона, а значит, и треть общего числа каналов связи в системе, что обеспечивает значительную абонентскую емкость соты. Вместе с тем частое повторение зон с одинаковыми полосами частот характеризуется заметным уровнем соканальных помех, т.е. помех от станций системы, работающих в той же полосе частот, но расположенных в несмежных сотах. Для уменьшения влияния соканальных помех более выгодны кластеры с большим числом элементов, например 7-элементные (см. теоретический раздел курса).

5.2 Расчет защитного отношения для проектируемой сети сотовой

связи

Условие безпомеховой работы радиосетей (условие электромагнитной совместимости - ЭМС) на границе зоны обслуживания БС 1 (рисунок 3.6):

Рс.вх.пр (Rз) – Рпом.вх.пр.(d) = Аз, дБ, (3.11)

где Рс.вх.пр (Rз) – уровень мощности полезного сигнала на границе

зоны обслуживания БС;

Rз – радиус зоны обслуживания БС;

Рпом.вх.пр.(d) – уровень мощности мешающего сигнала на границе

зоны обслуживания рассматриваемой БС;

Аз – защитное отношение, т.е. отношение сигнал/шум, при

котором обеспечивается требуемое качество передачи

информации.



Рисунок 3.6 – К расчету защитного отношения

В общем случае расстояние D между центрами ячеек, в которых используются одинаковые полосы час­тот, связано с числом N ячеек в кластере простым соотношением:

D = R,

где R – радиус ячейки ( радиус окружности, описанной вокруг правильного шестиугольника).

*Величина С = 1 / N (N – число сот в кластере) называется коэффициентом повторного использования частот. Она характеризует эффективность повторного использования частот.*

Заметим, что увеличение числа элементов в кластере, вы­годное в отношении снижения уровня соканальных помех, приво­дит к пропорциональному уменьшению полосы частот, которая мо­жет быть использована в одной ячейке. Поэтому практически чис­ло элементов в кластере должно выбираться минимально возмож­ным, обеспечивающим допустимое отношение сигнал/помеха.

Необходимо рассчитать защитное отношение на границе зоны обслуживания БС.

Принимая уровень полезного сигнала на границе защищаемой зоны обслуживания равным чувствительности приемника Рмин, найдем защитное отношение из уравнения (3.11), предварительно рассчитав Рпом.вх.пр.(d).

*Полученное значение необходимо сравнить с нормируемой величиной для стандарта GSM (9 дБ) и сделать соответствующие выводы.*

6  *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.

*6.1 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;

– ремонтопригодностью;

– долговечностью.

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

*Ремонтопригодность* – свойства системы, заключающиеся в приспособленности к предупреждению о нарушении и устранении 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.

*6.2 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 Тн* и *среднее время восстановления после сбоя Тв* являются основными параметрами, которые следует учитыватьпри 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.

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 *Тср* каждого элемента системы, можно определить интенсивность отказов λ, 1/ч, каждого элемента по формуле

λ = 1/Tср

и всей системы в целом по формуле:

λ(t)с =

где λi – интенсивность отказов каждого элемента системы.

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

Тср.с = 1/ λс

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

Вероятность безотказной работы определяется по формуле:

Pс(t) = e- λt ,

где *t* – время испытания, час; λ – интенсивность отказов системы.

Время испытания может 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 ремонтопригодности:*

– среднее время восстановления;

– коэффициент готовности;

– коэффициент простоя.

Используя параметры надежности *Tср и Tв* , можно вычислить коэффициент доступности услуг *Кд* (коэффициент готовности *Кг*).

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

Коэффициент готовности:

*Кг = Тср /(Тср + Тв)*

где *Tср* – среднее время наработки на отказ системы; Tв – время восста-новления системы.

Время восстановления системы рассчитывается по формуле:

*Tв = Тоб + Тд + Ту + Тн,*

где: *Тоб* – время обнаружения неисправности;

*Тд* – время на доставку к месту восстановления вышедшего из строя элемента системы;

Ту – время на устранение повреждения;

Тн – время на настройку и проверочные испытания.

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

Коэффициент простоя:

Kп = 1 – Кг

В результате расчетов должна быть заполнена таблица 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты расчета надежности системы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Интенсивность отказов системы λс, 1/ч | Наработка на отказ системы Тср, час | Вероятность безотказной работы | | | | Тв | Кг | Кп |
| 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 Тср должна быть не менее 350 суток;

– коэффициент готовности системы Кг должен быть не менее 0,99.

*7 Заключение*

*Приводятся выводы по результатам расчетов*

*8 Список литературы*