|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Контрольная работа | | Новосибирск  2013 |
| Методические указания | Проектирование телекоммуникационных систем связи с подвижными объектами | |

ОГЛАВЛЕНИЕ

Разработал: доцент кафедры СМС: Е.В. Кокорева

ФГОБУ ВПО СибГУТИ

[Оглавление 0](#_Toc368516306)

[Замечания по выполнению и оформлению контрольной работы 2](#_Toc368516307)

[Введение 3](#_Toc368516308)

[Теоретическая часть 3](#_Toc368516309)

[Задание 11](#_Toc368516310)

[Варианты задания 12](#_Toc368516311)

[Список литературы 14](#_Toc368516312)

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Выполнение контрольной работы

Желательно, чтобы требуемые вычисления были выполнены при помощи пакета математических и инженерных расчётов, такого как Mathcad или SMath Studio. Последний из них является свободно распространяемым, легко устанавливается на компьютер и не требует каких-либо специальных знаний для его использования.

Вариант задания выбирается из таблицы 8 (исходные данные из таблиц 2-7) **по двум последним цифрам пароля**.

Преподаватель должен получить от студента на проверку архив, содержащий два документа:

1. Файл в формате MS Office .doc (допускается также .docx или .pdf) с описанием выполнения контрольной работы.
2. Файл рабочий лист Mathcad в формате .mcd, .xmcd или рабочий лист SMath Studio в формате .sm с расчётами и графиками.
3. Оформление контрольной работы

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 7.32-2001 и содержать:

1. Титульный лист.
2. Задание в соответствии с вариантом.
3. Краткое (1-2 стр.) теоретическое описание изучаемой технологии мобильной связи.
4. Выполнение задания (допускается в виде рабочего листа Mathcad или SMath Studio с комментариями на русском языке).
5. Результаты выполнения в виде численных значений, графиков зависимостей, таблиц и рисунков.
6. Выводы по проделанной работе.
7. Список литературы (по ГОСТ 7.1-2003).

Страницы должны быть пронумерованы, кегль не менее 13, без грамматических орфографических и лексических ошибок.

Рисунки, таблицы, формулы и другие объекты должны быть пронумерованы и подписаны в соответствии с ГОСТ 2.105-95.

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по дисциплине «Проектирование телекоммуникационных систем связи с подвижными объектами» предполагает расчёт зоны покрытия одиночно стоящей базовой станции, принадлежащей сети сотовой связи определённого стандарта (в соответствии с вариантом задания).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Учёт направленных свойств передающей антенны

Направленные свойства антенны определяются её диаграммой направленности (ДН), т.е. зависимостью напряжённости поля, создаваемой антенной в дальней зоне от углов наблюдения: θ в горизонтальной плоскости и ϕ в вертикальной плоскости относительно поверхности земли. Зона покрытия базовой станции (БС) будет зависеть от диаграммы направленности её антенны.

Рассмотрим несколько антенн, используемых для организации подвижной радиосвязи.

* 1. Антенна типа граунд плейн

Антенна типа «заземлённый вибратор» (англ. *ground plane antenna*) содержит: несимметричный вибратор длиной ; противовес, выполненный из 3-6-ти равномерно ориентированных по азимуту проводников и антенную мачту, внутри которой проходит возбуждающий антенну коаксиальный кабель (рисунок 1).

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 1 – Конструкция антенны граунд плейн | *Диаграммы направленности* антенны в разных плоскостях определяются:  (1)  где  – постоянная распространения,  – рабочая длина волны (*с* – скорость света, *f* – рабочая частота, соответствующая стандарту мобильной связи),  – длина несимметричного вибратора. |

*Коэффициент направленного действия* антенны определяется:

, (2)

здесь  – нормированные диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно:

 (3)

 – направления максимального излучения антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно.

* 1. Коллинеарная антенна

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 2 – Коллинеарная антенна | Коллинеарная антенна представляет собой решетку из 2-3-х полуволновых вертикальных вибраторов, которые разделены либо катушками, либо четвертьволновыми короткозамкнутыми линиями (рисунок 2).  Электрическая длина катушек выбирается таким образом, чтобы ток, текущий в них, имел противоположное направление относительно тока, текущего в вибраторах.  Питание антенны осуществляется с помощью коаксиального кабеля, проходящего внутри антенной мачты к нижнему вибратору.  Для защиты от климатических воздействий, антенна заключается в диэлектрический (обычно стеклопластиковый) корпус, являющийся опорной конструкцией. |

Диаграммы направленности:

 (4)

где  – длина несимметричного вибратора, *d* – расстояние между вибраторами (рекомендуемое значение ).

Коэффициент направленного действия (КНД) определяется по формуле 2.

* 1. Кольцевая антенная решётка

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 3 – Кольцевая антенная решётка | Антенна представляет собой вертикальную решетку из поперечных вертикальных полуволновых бивибраторов , размещенных на металлической мачте, которая служит одновременно рефлектором и опорной конструкцией. Каждый этаж содержит 4 бивибратора.  Диаметр антенной мачты принять равным |

Диаграммы направленности:

 (5)

где



*k* – постоянная распространения;

*n* – число этажей (4-6);

 – расстояние между этажами;

 – расстояние между бивибратором и рефлектором;

 – диаметр антенной мачты.

Коэффициент направленного действия определяется по формуле 2

* 1. Панельная антенна

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 3 – Панельная антенна | Панельные антенны – наиболее распространённый вид антенн для организации мобильной связи. Конструкция антенны может содержать набор панелей, которые представляют собой металлический кожух квадратного сечения, на каждой стороне которого размещены два симметричных полуволновых вибратора. С целью увеличения КНД панели монтируются на антенной мачте друг над другом на одинаковых расстояниях . Число панелей на практике выбирается в пределах от 2 до 8. Металлический кожух играет роль апериодического рефлектора и, кроме того, служит элементом крепления симметричных вибраторов. Питание антенны осуществляется коаксиальным кабелем, про­ходящим внутри антенной мачты. |

Диаграммы направленности:

 (6)

где:



*k* – постоянная распространения;

*n* – число этажей (4-6);

 – расстояние между этажами;

 – расстояние между симметричным вибратором и рефлектором;

 – расстояние между вибраторами в панели;

 – диаметр антенной мачты.

Коэффициент направленного действия определяется по формуле 2.

* 1. Коэффициент усиления антенны

Коэффициент усиления любой антенны в направлении максимального излучения определяется известным соотношением:

, (7)

где  – коэффициент полезного действия (КПД) антенны.

В общем случае коэффициент усиления антенны базовой станции сети мобильной связи зависит от диаграммы направленности антенны. Учёт направленных свойств антенны при определении зоны покрытия базовой станции следует проводить в горизонтальной плоскости.

Тогда коэффициент усиления рассмотренных выше антенн может быть вычислен следующим образом:

, (8)

где  – нормированная ДН антенны в горизонтальном направлении.

Эмпирические модели определения среднего уровня затухания при распространения радиосигнала от БС к МС

В реальных условиях распространения радиосигнала на местности величина затухания зависит от комплекса факторов, определяющих характер распространения радиоволн. К ним относятся:

* отражение сигнала от объектов, имеющих размеры, превосходящие длину волны;
* дифракция радиоволн на пути распространения;
* рассеивание радиосигнала, которое происходит при наличии на местности большого числа объектов, размером меньше длины волны (например, лиственные деревья);
* эффект Доплера, имеющий место при перемещении объекта.

Ниже рассматриваются несколько популярных эмпирических моделей расчёта затухания сигнала в условиях городской застройки.

* 1. Модель Ли

У.К. Ли (англ. *W.C.Y. Lee*) предложил очень простую модель распространения сигнала, основанную на серии проведенных в США измерений на несущей частоте  МГц. Согласно модели Ли, среднее значение мощности, измеренной на расстоянии  от передающей станции, описывается выражением:

. (9)

или в логарифмическом представлении:

, (10)

где  – эталонная медианная мощность, измеренная на расстоянии  км; *f* – частота излучения; *d* – расстояние между БС и МС в км;  – поправочный коэффициент, вычисляемый на основе серии компонентных множителей по формуле:

, (11)

в которой коэффициенты  рассчитываются следующим образом:

, (12)

, (13)

где  - эффективная высота антенны базовой станции, м;  - высота антенны подвижной станции, м;  - показатель степени. При высоте антенны подвижной станции менее 3 м принимается , а при высоте более 10 м – . В свою очередь:

, (14)

, (15)

, (16)

где  – мощность сигнала, излучаемого передатчиком базовой станции, Вт;  – коэффициенты усиления антенн соответственно базовой и подвижной станции относительно полуволнового вибратора.

Параметры  и  получены экспериментально на основе проведенных замеров в различных типах окружающей среды (таблица 1).

Таблица 1 – Значения  и  для различных типов окружающей среды

| **Тип среды** | **, dBm** | **, дБ на декаду** |
| --- | --- | --- |
| Свободное пространство | -41 | 20,0 |
| Сельская местность, редкая застройка | -40 | 43,5 |
| Пригород, небольшой город | -54 | 38,4 |
| Филадельфия | -62,5 | 36,8 |
| Нью-Йорк | -55 | 43,1 |
| Токио | -78 | 30,5 |

Медианные потери мощности в зависимости от частоты определяются коэффициентом  и его показателем степени . Для частот от 30 МГц до 2 ГГц и расстояний между подвижной и базовой станциями от 2 до 30 км значение  лежит в диапазоне 2÷3. Величина  также зависит от топографических особенностей местности. Для пригородных и сельских районов рекомендуется выбирать  при частотах ниже 450 МГц и  при частотах выше 450 МГц.

Измерения, лежащие в основе эмпирических формул модели Ли, были проведены в системе со следующими параметрами:

|  |  |
| --- | --- |
| Несущая частота | МГц |
| Высота антенны базовой станции | м |
| Мощность передаваемого сигнала | Вт |
| Коэффициент усиления антенны базовой станции | дБ |
| Высота антенны базовой станции | м |
| Коэффициент усиления антенны подвижной станции | дБ |

Эти параметры отражены в формулах в виде коэффициентов .

* 1. Модель Хата

Модель Хата (англ. *Hata*) возникла в результате адаптации эмпирических формул к графикам, составленным Окамурой и его соавторами. Эти формулы хорошо аппроксимируют графики в определенных диапазонах несущих частот на квазигладкой земной поверхности. Для оценки затухания сигнала Хата предложил следующие эмпирические формулы. В городской местности в частотном диапазоне от 150 до 1500 МГц при эффективной высоте антенны базовой станции  имеем:

, (17)

где  МГц – частота радиосигнала;  – высота передающей антенны;  – высота приёмной антенны;  – расстояние между антеннами  – поправочный коэффициент для высоты антенны МС, зависящий от типа местности (дБ):

* для малых и средних городов:

; (18)

* для крупного города:

 (19)

 (20)

В пригородной местности потери при распространении сигнала можно описать формулой:

. (21)

В условиях открытой местности потери описываются выражением:

. (22)

* 1. Модель COST231-Хата

Представленные выше модели распространения сигнала позволяют оценить зависимость потерь от несущей частоты, высоты антенн базовой и подвижной станций и типа местности. Они неплохо отражают процессы распространения сигнала на расстояния, превышающие 1 км, и лучше всего подходят для частот до 1,5 ГГц. Однако многие из используемых в настоящее время систем мобильной связи работают в диапазоне от 1,8 и более ГГц.

В связи с этим, для создания моделей распространения сигнала в частотном диапазоне 1,8÷2,0 ГГц были поставлены многочисленные эксперименты в данном диапазоне в сравнении с диапазоном 900 МГц, традиционно применяемым в сотовой телефонии. Результатом экспериментов стали две известные модели распространения, разработанные в рамках проектов COST. Это модели COST231-Хата и COST231-Уолфиш-Икегами.

Модель COST231-Хата позволяет оценивать затухание по формуле:

, (23)

где *С* – постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью ; для центров крупных городов ; поправочный коэффициент – .

Определение зоны уверенного приёма радиосигнала

Для определения зоны уверенного приёма мобильной станцией радиосигнала базовой станции необходимо определить по всем направлениям напряжённость поля на расстоянии *d* от источника излучения на входе антенны мобильной станции:

, (24)

где:

 – мощность передатчика базовой станции см. по варианту (таблица 1).

 – коэффициент усиления антенны – формула 8.

 – потери на трассе распространения сигнала в зависимости от расстояния между БС и МС формулы 17, 21, 23 для моделей Хата и COST231-Хата.

Необходимо также задать пороговое значение напряжённости поля на входе приёмного устройства:

 (25)

где пороговая мощность приёмника  задана по варианту (таблица 3).

Формула 24 используется для расчёта зоны покрытия с помощью моделей Хата и COST231-Хата. Для модели Ли используем выражение:

, (26)

где  – мощность приёма на расстоянии *d* от базовой станции, определённая с помощью модели У.К. Ли – формула 10.

Расстояние уверенного приёма сигнала базовой станции вычисляется из соотношения:

, (27)

причём граница зоны покрытия будет находиться на расстоянии где выполняется:

, (28)

где *θ* – угол, отсчитываемый в горизонтальной плоскости земли.

ЗАДАНИЕ

Рассчитать зону покрытия одиночно стоящей базовой станции для уверенного приёма радиосигнала в шести направлениях (север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад, северо-запад), в соответствии с диаграммой направленности антенны. Указать расстояния на осях.

В результате должна получиться диаграмма, подобная той, что представлена не рисунке 5. (карту города подкладывать необязательно).



Рисунок 5 – Зона покрытия базовой станции

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ

Таблица 2 − Стандарты сотовой связи

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Стандарт | Рабочая частотаМГц | Мощность передатчика Вт |
| 1 | GSM | 900 | 5 |
| 2 | GSM | 1800 | 20 |
| 3 | CDMA | 800 | 15 |
| 4 | CDMA | 450 | 10 |
| 5 | CDMA | 1900 | 18 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 3 − Чувствительность приёмника мобильной станции   |  |  | | --- | --- | | № п/п | дБм | | 6 | -104 | | 7 | -110 | | 8 | -123 | | 9 | -105 | | 10 | -112 | | 11 | -115 | | 12 | -108 | | 13 | -121 | | 14 | -124 | | 15 | -111 | | Таблица 4 − Эмпирическая модель расчёта потерь мощности   |  |  | | --- | --- | | № п/п | Модель | | 16 | Ли | | 17 | Хата | | 18 | COST231-Хата |   Таблица 5 − Тип застройки   |  |  | | --- | --- | | № п/п | Характер местности | | 19 | Большой город | | 20 | Средний город | | 21 | Пригород | | 22 | Сельский участок | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 6 − Тип антенны БС   |  |  | | --- | --- | | № п/п | Антенна | | 23 | Граунд-плейн | | 24 | Коллинеарная | | 25 | Кольцевая антенная решётка | | 26 | Панельная | | Таблица 7 − Высота подвеса антенны   |  |  | | --- | --- | | № п/п | м | | 27 | 55 | | 28 | 30 | | 29 | 40 | | 30 | 45 | | 31 | 35 | |

**Примечание 1:** высота антенны МС принимается равной hMS=1.5 м.

**Примечание 2:** коэффициент усиления антенны мобильной станции принимается равным во всех направлениях.

Таблица 8 − Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ Варианта** | **Параметры[[1]](#footnote-1)** | | | | | |
| **Стандарт**  **таблица 1** | **таблица 2** | **Модель**  **таблица 3** | **Тип застройки**  **таблица 4** | **Антенна**  **таблица 5** | **таблица 6** |
| 1 | 1 | 6 | 16 | 19 | 23 | 28 |
| 2 | 2 | 7 | 18 | 19 | 25 | 29 |
| 3 | 3 | 8 | 16 | 20 | 24 | 27 |
| 4 | 4 | 9 | 17 | 21 | 26 | 29 |
| 5 | 5 | 10 | 18 | 21 | 23 | 31 |
| 6 | 1 | 11 | 17 | 22 | 25 | 28 |
| 7 | 2 | 12 | 18 | 21 | 24 | 30 |
| 8 | 3 | 13 | 17 | 22 | 26 | 28 |
| 9 | 4 | 14 | 16 | 19 | 23 | 29 |
| 10 | 5 | 15 | 18 | 22 | 25 | 27 |
| 11 | 1 | 6 | 16 | 19 | 24 | 29 |
| 12 | 2 | 7 | 18 | 21 | 26 | 31 |
| 13 | 3 | 8 | 17 | 19 | 23 | 28 |
| 14 | 4 | 9 | 16 | 19 | 25 | 30 |
| 15 | 5 | 10 | 18 | 21 | 24 | 31 |
| 16 | 1 | 11 | 17 | 20 | 26 | 27 |
| 17 | 2 | 12 | 18 | 20 | 23 | 28 |
| 18 | 3 | 13 | 16 | 20 | 25 | 28 |
| 19 | 4 | 14 | 16 | 20 | 24 | 29 |
| 20 | 5 | 15 | 18 | 21 | 26 | 27 |
| 21 | 1 | 6 | 17 | 22 | 23 | 29 |
| 22 | 2 | 7 | 18 | 19 | 25 | 31 |
| 23 | 3 | 8 | 17 | 20 | 24 | 28 |
| 24 | 4 | 9 | 16 | 21 | 26 | 30 |
| 25 | 5 | 10 | 18 | 20 | 23 | 31 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи / Пер. с польск. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.
2. Беленький В.Г. Расчёт зоны покрытия базовой станции: методические указания к курсовому проектированию. – Новосибирск: СибГУТИ, 2004.
3. Милютин Е.Р. Модели расчета потерь мощности сигнала в сотовых системах связи. – «Мобильные телекоммуникации», 2008, № 4, с. 24-27.
4. Абилов А.В. Распространение радиоволн в сетях подвижной связи: Теоретический материал и задачи для практических занятий. – Ижевск: ИжГТУ, 2001. – 24 с.
5. Final report of COST 231, European Comission, Bruxelles, 1999, <http://www.cost.esf.org/>, <http://www.lx.it.pt/cost231/>

1. Таблица 8 содержит номера вариантов из таблиц 2-7 [↑](#footnote-ref-1)