

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

Факультет «Магистратура»

В.Л. Удовикин

**СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ
С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

Утверждено Методическим советом ТГТУ
в качестве методических указаний по проведению лабораторных работ
для студентов магистратуры, обучающихся по направлениям
210200 «Проектирование и технология электронных средств»,
211000 «Конструирование и технология электронных средств»,
210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»



Тамбов
2013

УДК 621.396(075.8)
ББК з884.1я73
У 313

Рецензент:
к.т.н., доц. И.Т. Степаненко

Удовикин В.Л.

У 313 Системы и сети связи с подвижными объектами: руководство к лабораторным работам / В.Л. Удовикин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 49 с.

Лабораторный практикум обеспечивает исследование методов частотно-территориального планирования систем и сетей связи с подвижными объектами (ССПО) и определения общих технических характеристик ССПО, изучение способов их обеспечения на примере цифровой сотовой ССПО стандарта GSM, исследование энергетических показателей ССПО (в том числе и спутниковых), входящих в состав сотовых сухопутных подвижных систем электросвязи, даны рекомендации по методике проведения исследований в лабораторном практикуме и использованию учебной литературы.

Предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 210200 «Проектирование и технология электронных средств», 211000 «Конструирование и технология электронных средств», 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также для студентов высших учебных заведений инфокоммуникационных специальностей.

©Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2013

Список основных сокращений и обозначений

АС – абонентская станция
БС - базовая станция
ДМВ - дециметровые волны
ЗС - земная станция
МС - мобильная станция
МВ - метровые волны
ОВЧ - очень высокие частоты
ПЭП - процедура эстафетной передачи
РРЛ - радиорелейная линия
СПР - система подвижной радиосвязи
ССПО - система связи с подвижными объектами
ССС - спутниковая система связи
ТШ - тепловые шумы приемника (собственные)
УВЧ - ультравысокие частоты
УММС - усредненная медианная мощность сигнала
ЧТП - частотно–территориальный план
ЭИИМ - эквивалентная изотропная излучаемая мощность

G, g - коэффициент усиления антенны (в раз и децибелах)
 d - расстояние между БС и АС
 h_1 - высота антенны БС
 h_2 - высота антенны АС
 $L_{\text{диф}}(\nu)$ - уровень дифракционных потерь
 p - уровень мощности сигнала (дБ)
 P - мощность сигнала (Вт)
 $P_{\text{П}}, P_1$ - мощности передатчика
 q - градиент диэлектрической проницаемости воздуха
 R - протяженность трассы
 $d_{\text{ПВ}} (d_{\text{РГ}})$ - расстояние прямой видимости (дальность радиогоризонта)

Общие положения

Дисциплина «Системы и сети связи с подвижными объектами» базируется на совокупности научных, технических и технологических достижений современных телекоммуникационных технологий.

Основными задачами лабораторного практикума дисциплины являются:

- получение общих представлений о частотно-территориальном планировании (ЧТП) сетей связи с подвижными объектами и общих технических характеристиках систем связи с подвижными объектами (ССПО);
- получение навыков определения количественных оценок параметров ЧТП и общих технических характеристик ССПО;
- изучение способов формирования технических характеристик ССПО и их применения на примере цифровой сотовой ССПО стандарта GSM;
- рассмотрение структурных схем, особенностей построения аппаратуры, интерфейсов, терминального оборудования, способов формирования сигналов в стандарте GSM;
- получение навыков исследования энергетических показателей ССПО (в том числе и спутниковых), входящих в состав сотовых сухопутных подвижных систем электросвязи.

Студенты после вводной части, проводимой преподавателем, самостоятельно выполняют исследования в соответствии с руководством и оформляют отчет, представляемый в электронном и бумажном виде. Защита отчета проводится студентом публично с использованием проектора в форме ответов на контрольные и дополнительные вопросы.

Лабораторная работа № 1

Исследование и расчет основных технических характеристик ССПО и способов их обеспечения

1 Цель работы

1.1 Ознакомление с содержанием частотно-территориального планирования (ЧТП) сетей связи с подвижными объектами, общими техническими характеристиками систем связи с подвижными объектами (ССПО) и способами их обеспечения.

1.2 Расчет основных технических характеристик ССПО.

1.3 Получение навыков оценки электромагнитной совместимости (ЭМС) аппаратуры ССПО с использованием основных технических характеристик.

2 Задание

2.1 Изучить в процессе самостоятельной подготовки основные теоретические сведения по теме данной лабораторной работы из списка рекомендованной литературы ([1], стр. 489-498; [2], стр. 27-39, 255-261).

2.2 Изучить влияние на ЭМС и частотно-территориальный план ССПО следующих параметров: частоты (f), мощности передатчика ($P_{\text{п}}$), расстояния между базовой и абонентской станциями (d), высоты приемной и передающей антенн (h_1 и h_2).

2.3 Рассчитать основные параметры ЧТП сети связи и технические характеристики ССПО.

2.4 Анализ ЭМС и частотно-территориальных планов ССПО различных стандартов.

3 Краткие теоретические сведения

Главные элементы системы связи с подвижными объектами (ССПО) [2, 3]:

- центр коммутации подвижной службы (ЦКПС);
- базовые и абонентские станции (БС и АС);
- стационарные линии связи (кабельные, радиорелейные и др.) БС со своим ЦКПС;
- стационарные линии связи ЦКПС сети с транзитными коммутаторами ТФОП и обмена информацией по общему каналу сигнализации ОКС 7.

Сота - это территория, обслуживаемая одной БС при всенаправленных антеннах. В зависимости от радиуса r_0 соты различают макросоты с $r_0 \geq 0,5$ км, микросоты с $r_0 < 0,5$ км и пикосоты радиусом несколько десятков метров.

Каждая БС поддерживает радиосвязь с АС, находящимися в своей соте. Во избежание взаимных помех соседние БС работают на разных частотах. Каждой соте присваивается частотная группа и для всей ССПО составляется частотно-территориальный план (ЧТП).

Частотно-территориальное планирование сетей ССПО предусматривает выбор структуры (конфигурации) сети, места установки БС, выбор типа, высоты и ориентации антенн, распределение частот между БС. Для уменьшения капитальных затрат должна осуществляться оптимизация частотно-территориального плана, т. е. необходимо разрабатывать план, обеспечивающий заданную зону обслуживания, емкость сети, требуемое качество обслуживания при минимальном числе базовых станций и используемых частот. Планирование должно обеспечивать внутрисистемную и межсистемную электромагнитную совместимость (ЭМС) радиосредств. В первом случае обеспечивается ЭМС между радиостанциями проектируемой сети, во втором - между радиосредствами проектируемой сети и радиосредствами других систем, работающими в общих и смежных полосах частот и являющимися потенциальными источниками помех.

ЭМС - это способность радиоэлектронных систем совместно функционировать в реальных условиях эксплуатации с сохранением своих основных технических характеристик при воздействии на нее всевозможных непреднамеренных помех и не создавать помехи недопустимого уровня другим радиосредствам. Для обеспечения ЭМС требуется уменьшить до допустимого уровня действие различных видов помех.

ЧТП ССПО условно можно разделить на две части (рисунок 1):

1. *Частотный план* - распределение частот приема $f_{\text{ПРМ}}$ и передачи $f_{\text{ПРД}}$ между каналами, присвоенное стандарту;

2. *Территориальный план* - привязка *частотного плана к конкретной территории*, в котором указывается:

- размерность кластера - $N_{\text{КЛ}}$;
- распределение частотных групп между сотами;
- число каналов в каждой частотной группе, присвоенной соте, - $N_{\text{ЧГ}}$;
- номинальные значения частот каналов в такой группе - f_0 ;
- расположение сот на территории и размер (радиус) r_0 соты.

В ССПО используется принцип многократного повторного использования частот связи: одни и те же частоты предоставляются различным пользователям на всей территории, обслуживаемой системой. Принцип построения предполагает работу многих БС на совпадающих частотах

(рисунок 2 - БС центральной соты и БС М1-М6). В результате этого БС М1-М6 создают на входе АС центральной соты *интерференционные* или *соканальные* помехи, ухудшающие внутрисистемную ЭМС ССПО.

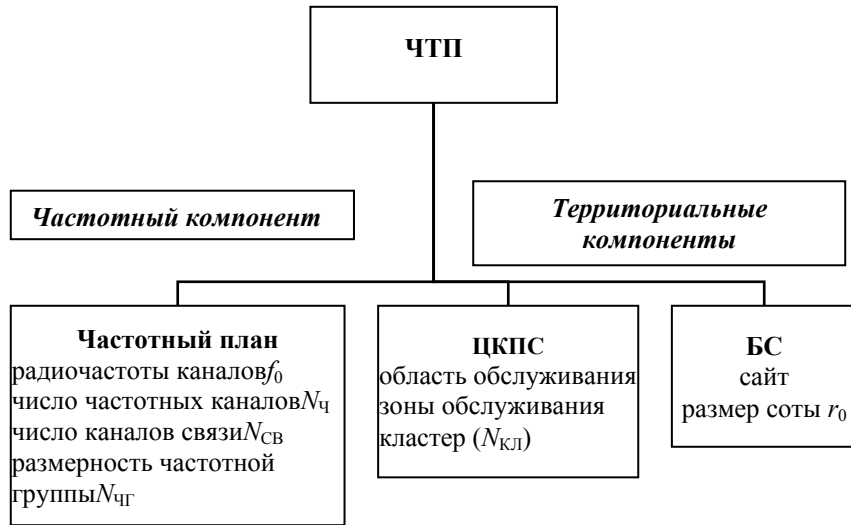


Рисунок 1 Основные параметры ЧТП

Интерференционная помеха от таких БС рассматривается как внутрисистемная помеха, определяющая их электромагнитную совместимость (ЭМС), и именно эта помеха определяет такой параметр структуры, как *размерность кластера* $N_{\text{кл}}$. На основе геометрии однородной модели ССПО, размеры сот в которой постоянны, расстояние $d_{\text{кл}}$ между БС, работающими на совпадающих частотах, определяется соотношением [2, 3]

$$d_{\text{кл}} = qr_0, \quad (1)$$

где $q = \frac{E_C(r_0)}{E_I(d_{\text{кл}})} \approx \sqrt{3N_{\text{кл}}}$ - коэффициент ослабления интерференционной помехи (коэффициент ЭМС сети); $E_C(r_0), E_I(d_{\text{кл}})$ - напряженности поля сигнала от АС и интерференционной помехи в точке расположения БС центральной соты.

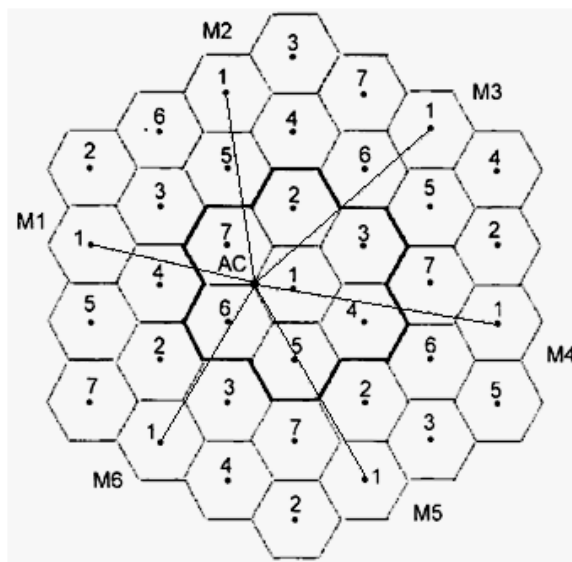


Рисунок 2 Фрагмент ЧТП при $N_{\text{кл}} = 7$
 М1 - М6 - БС, работающие на совпадающих частотах и создающие
 интерференционные помехи

Для одного мешающего сигнала отношение мощностей сигнал-интерференционная помеха на границе соты равно

$$Q_{\text{с-и}} = (r_0/d_{\text{кл}})^{-n}, \quad (2)$$

где n - показатель затухания при распространении сигналов; в зависимости от условий распространения сигнала принимает значения $n = 2 \dots 4$.

Подставив (1) в (2) и учитывая, что в однородной модели на одной частоте наблюдаются примерно одинаковые мешающие сигналы от шести БС, для допустимого отношения сигнал-интерференция на входе приемника при $n = 4$ запишем:

$$Q_{\text{с-и}}^* = \left(\frac{1}{6}\right) (d_{\text{кл}}/r_0)^4 = (1.6)(3N_{\text{кл}})^2 = (3/2)N_{\text{кл}}^2. \quad (3)$$

Соотношение (3) позволяет определить *размерность кластера*:

$$N_{\text{кл}} = \sqrt{(2/3)Q_{\text{с-и}}^*}, \quad (4)$$

$$Q_{C-И}^* = 10^{0,1q_{C-И}^*}, \quad (5)$$

где $q_{C-И}^*$ - допустимое отношение сигнал-интерференция (в дБ) в одной модели, которое определяет стандартом ССПО.

Допустимое отношение сигнал-интерференция на входе приемника для ССПО различных стандартов составляет:

$$q_{C-И}^* = \begin{cases} 9 \text{ дБ} - \text{ для системы GSM;} \\ 15 \text{ дБ} - \text{ для системы NMT} - 450; \\ 16 \text{ дБ} \text{ в стандарте D} - \text{ AMPS.} \end{cases}$$

Поэтому в цифровых системах можно использовать кластеры с меньшей размерностью, что, в свою очередь, повышает частотную эффективность цифровых систем.

Следовательно, в цифровой системе GSM допустимая мощность интерференционной помехи на входе приемника больше, чем в аналоговой системе NMT-450.

Число каналов в соте (*канальная эффективность, радиоемкость соты*)

$$N_{чГ} = N_{ч} / N_{кЛ}. \quad (6)$$

ССПО обычно работают в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ) (дециметровых волн). Максимальный радиус соты имеет место при отсутствии неровностей рельефа и ограничивается кривизной земной поверхности. Такая линия радиосвязи называется *открытой*. Ее протяженность определяется расстоянием прямой видимости

$$d_{ПВ} = 3,57\sqrt{(h_1 + h_2)} \quad (7)$$

(здесь $d_{ПВ}$ выражено в километрах, h_1, h_2 - высоты расположения (*подвеса*) антенн БС и АС - в метрах).

При распространении радиосигнала на открытых трассах могут быть использованы следующие параметры радиоволн:

1 Действующее значение напряженности электрического поля в свободном пространстве для направленной передающей антенны с коэффициентом усиления G_1 , к которому подведена мощность P_1 :

$$E_0 = \frac{\sqrt{30P_1G_1}}{d} \text{ [В/м]}. \quad (8)$$

2 Плотность потока мощности (мощность, приходящаяся на единицу поверхности):

$$W = P_1 / 4\pi d^2 \text{ [Вт/м}^2\text{]}. \quad (9)$$

3 Мощность сигнала от БС на входе приемника АС зависит от протяженности d трассы и частоты (длины волны)

$$P_{\text{С ВХ}}(f, d) = P_1 G_1 G_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 10^{-(a_1 + a_2)}. \quad (10)$$

или уровень мощности (в дБ) сигнала от БС на входе приемника АС

$$p_{\text{С ВХ}} = 10 \lg P_{\text{С ВХ}} = p_0(f, d), \quad (11)$$

где $p_0(f, d)$ - уровень мощности сигнала в точке приема при распространении в свободном пространстве:

$$p_0(f, d) = p_{\Pi} + g_1 + g_2 - (a_{\text{СВ}} + a_1 + a_2), \quad (12)$$

где p_{Π} - уровень мощности передатчика; g_1, g_2 - коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно, выраженные в децибелах; a_1 и a_2 - потери в фидере передающей и приемной антенн соответственно; $a_{\text{СВ}} = 20 \lg(4\pi d/\lambda)$ - ослабление свободного пространства; d - протяженность трассы; λ - рабочая длина волны.

Следует иметь в виду, что энергетические возможности передатчика часто характеризуются *эквивалентной изотропной излучаемой мощностью* (ЭИИМ)

$$P_{\text{ЭИИМ}} = P_{\Pi} G_1, \quad (13)$$

учитывающей влияние направленных свойств передающей антенны.

4 Порядок выполнения работы

1. Изучить технические требования к ССПО различных стандартов.
2. Выделить основные частотные параметры ССПО, задаваемые стандартом.
3. Исследовать влияние территориальных параметров ЧТП ССПО на ЭМС системы:
 - влияние допустимого отношения сигнал-интерференция (6) на $N_{\text{КЛ}}$, $N_{\text{ЧГ}}$ и коэффициент ЭМС сети q ;
 - влияние r_0 и f на уровень мощности сигнала в точке приема $p_0(f, d)$.

5. Содержание отчета

1. Название работы, задание и исходные данные для выполнения работы.
 2. Результаты исследования и расчета параметров ЧТП ССПО.
 4. Анализ полученных результатов и выводы по работе.
- Для защиты лабораторной работы должен быть представлен отчет, оформленный с соблюдением требований ЕСКД в рукописном или печатном виде.

6. Контрольные вопросы

1. Что такое интерференция, интерференционная помеха?
2. Поясните понятие зоны освещенности (прямой видимости).
3. Нарисуйте и поясните прохождение лучей от передающей до приемной антенны в области освещенности.
4. Что такое ослабление свободного пространства и от чего оно зависит?
5. Как зависит напряженность поля от расстояния между антеннами в области освещенности?
6. Как зависит напряженность поля от высоты подвеса антенны в области освещенности?
7. Сравните характер зависимости от расстояния напряженности поля и мощности сигнала в точке приема при распространении радиоволн в свободном пространстве?

Литература

- 1 Галкин, В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: учебное пособие для вузов / В.А. Галкин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. - 592 с.
- 2 Макоеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами: учебное пособие для вузов / М.М. Макоеева, Ю.С. Шинаков. - М.: Радио и связь, 2002. - 440с.
- 3 Карташевский, В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский. - М.: Эко-Трендс, 2001. - 299 с.

Лабораторная работа № 2

Исследование энергетических показателей ССПО при высокоподнятых антеннах

1 Цель работы

- 1 Ознакомление с методами исследования энергетических показателей ССПО при высокоподнятых антеннах.
- 2 Расчет энергетических показателей ССПО при высокоподнятых антеннах.
- 3 Формирование умения использовать автоматизированный онлайн-калькулятор для расчета уровня сигнала на входе приемника при высокоподнятых антеннах при распространении сигнала в свободном пространстве и с учетом влияния земной поверхности и тропосферы.

2 Задание

- 1 Изучить в процессе самостоятельной подготовки основные теоретические сведения по теме данной лабораторной работы из списка рекомендованной литературы ([2], стр. 201-205; [3], стр. 59-64).
- 2 Выполнить предварительные расчеты:
 - зависимости расстояния прямой видимости $d_{\text{ПВ}}$ в соответствии с формулой (7) (см. лабораторное занятие № 1) от высот антенн h_1, h_2 ;
 - зависимость мощности $P_{\text{СВХ}}$ и уровня мощности $p_{\text{СВХ}} = p_0(f, d)$ (в дБ) сигнала от БС на входе приемника АС для открытой трассы от протяженности $0 < d \leq d_{\text{ПВ}}$ трассы и частоты, определяемую формулами (10), (11) (см. лабораторное занятие № 1), задавая необходимые для расчетов параметры из цифрового стандарта ССПО;
 - определить экстремумы интерференционного множителя (7) и соответствующие им значения относительного просвета $p(g)$.
- 3 Изучить влияние на распространение радиоволн параметров радиолинии: частоты (f), мощности передатчика ($P_{\text{П}}$), расстояния между базовой и абонентской станциями (d), высоты приемной и передающей антенн (h_2 и h_1).
- 4 Изучить порядок использования и возможности онлайн-калькулятора и выполнить расчеты энергетических показателей ССПО в свободном пространстве при высокоподнятых антеннах для различных условий.

3 Краткие теоретические сведения

ССПО обычно работают в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ) (дециметровых волн).

Оценка энергетических показателей ССПО заключается в расчете уровня мощности сигнала на входе приемника при различных условиях распространения радиоволн при высокоподнятых антеннах:

- для открытой линии радиосвязи в пределах *зоны освещенности* (прямой видимости);
- с учетом кривизны земной поверхности, ограничивающей радиовидимость, без отражения радиоволн от земной поверхности и для двухлучевой трассы с интерференции лучей.

Высокоподнятыми считаются передающая и приемная антенны при выполнении условия

$$\begin{aligned} h_1 &\gg \lambda; \\ h_2 &\gg \lambda, \end{aligned} \quad (1)$$

где h_1, h_2 - высоты антенн; λ - рабочая длина волны.

На открытых трассах в зоне освещенности уровень мощности $p_{CBX} = p_0(f, d)$ (в дБ) сигнала от БС на входе приемника АС, определяемый формулой (12) (см. лабораторное занятие № 1), зависит от протяженности d трассы и частоты.

На трассах с ограничением радиовидимости уровень мощности сигнала на входе приемника (в дБ) равен

$$p_{CBX} = p_0(f, R) + v(d, t), \quad (2)$$

где $v(d, t)$ - множитель ослабления поля, позволяющий учесть влияние земной поверхности и тропосферы на поле в точке приема.

Влияние земной поверхности может проявляться следующим образом:

- может появляться отраженная волна;
- неровности рельефа могут экранировать поле прямой волны;
- кривизна земной поверхности и неровности рельефа ограничивают расстояние прямой видимости (границы зоны освещенности, дальность радиогоризонта), которое определяется выражением (7) (см. лабораторное занятие № 1).

Для расчета множителя ослабления поля $v(d, t)$ строят профиль пролета (рисунок 1) в следующей последовательности:

- наносят *линию прямой видимости АВ*;
- определяют *самую высокую точку профиля С* и ее координату d_C ;

– находят *просвет* H_C - расстояние от самой высокой точки профиля до линии прямой видимости. Пунктиром на рисунке 1 нанесена линия земной поверхности. Величина просвета H_C зависит как от рельефа местности, так и от состояния тропосферы. Влияние тропосферы проявляется по следующим причинам:

- слоистые неоднородности тропосферы могут создавать отраженную волну;
- изменение диэлектрической проницаемости тропосферы по высоте может вызывать искривление (рефракцию) траектории прямой волны;
- на частотах выше 10 ГГц энергия сигнала поглощается и рассеивается *гидрометеорами* (частицами воды, каплями дождя в воздухе).

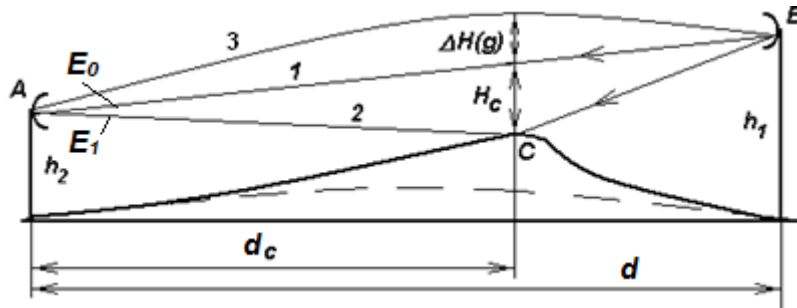


Рисунок 1. Профиль пролета

Изменение просвета на трассе под воздействием атмосферной рефракции связано с прохождением радиоволны по траектории 3 и оценивается величиной приращения просвета

$$\Delta H(q) = -0,25d^2 qk(1-k), \quad (3)$$

где $k = d_c/d$ - относительная координата точки C; $q = d\varepsilon / dh$ - градиент диэлектрической проницаемости ε воздуха ($q \approx -10 \times 10^{-8} \text{ м}^{-1}$).

Градиент диэлектрической проницаемости q - величина случайная и имеет гауссовское распределение. Численные значения величин среднего значения q и стандартного отклонения σ_q для различных климатических районов мира приведены в справочной литературе.

С учетом атмосферной рефракции просвет равен

$$H(q) = H_C + \Delta H(q). \quad (4)$$

Для классификации видов трасс используют *относительный просвет*

$$p(q) = H(q) / H_0 \quad (5)$$

где H_0 - радиус первой полузоны Френеля:

$$H_0 = [d\lambda k(1 - k) / 3]^{0.5} \quad (6)$$

По величине относительного просвета $p(q)$ различают следующие виды трасс:

- *закрытые* при $p(q) < 0$;
- *полуоткрытые* при $0 < p(q) < 1$;
- *открытые* при $p(q) > 1$.

На открытых трассах для расчета радиоканала, как правило, применяют *двухлучевую модель*. В таком случае поле в точке приема определяется интерференцией двух лучей (рисунок 1): *прямого* 1 и *отраженного* 2 от точки С. Множитель ослабления при $p(q) \geq 1$ (открытые трассы) определяется интерференционной формулой

$$V(d, t) = \{1 + \Phi^2 - 2\Phi \cos[p^2(q)\pi / 3]\}^{0.5} = 10^{0.05 V(d, t)}, \quad (7)$$

где Φ - модуль коэффициента отражения радиоволн от земной поверхности.

Величина множителя ослабления изменяется случайным образом при изменении диэлектрической проницаемости земной поверхности от максимального значения $V_{max} = (1 + \Phi)$, когда прямая и отраженная волны складываются в фазе, до минимального значения $V_{min} = (1 - \Phi)$ при $p(q) = (6n)^{0.5}$, $n = 1, 2, 3, \dots$, когда эти волны противофазны. При этом возникают *быстрые замирания* (*фединг*) сигнала, которые называются *интерференционными*.

При отражении от гладкой плоской поверхности модуль коэффициента отражения $\Phi \rightarrow 1$. Неровная поверхность в зоне формирования отраженного луча (например, лес) определяет диффузный характер отражения, т.е. $\Phi \approx 0$, и отраженный от земной поверхности луч практически отсутствует.

При увеличении градиента диэлектрической проницаемости просвет на трассе уменьшается, и трасса может стать полуоткрытой и даже закрытой ($q < 0$). Препятствие экранирует поле основной волны. Множитель ослабления уменьшается. Возникают рефракционные замирания из-за экранирующего действия препятствия. Это *медленные замирания* (*фединг*).

4 Порядок выполнения работы

4.1. Исследование зависимости мощности сигнала от БС на входе приемника АС для открытой трассы (однолучевая модель).

Для перехода к онлайн-расчету необходимо загрузить любой доступный браузер и задать ссылку <http://www.cdt21.com/resources/siryo3.asp> [4]. В окне браузера откроется WEB-страница, на которой приводятся краткие теоретические сведения и вид онлайн-калькулятора.

Для запуска онлайн-калькулятора необходимо перейти по ссылке <Click to move to the calculation window>. В новом окне откроется онлайн-калькулятор (рисунок 2).

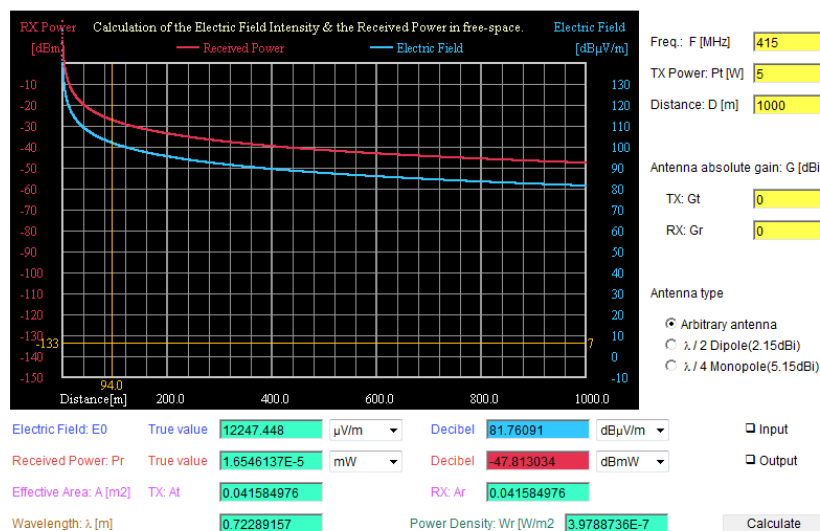


Рисунок 2 WEB-интерфейс онлайн-калькулятора (однолучевая модель)

В правом поле в окнах желтого цвета вводятся исходные данные для расчета:

частота связи $Freq F$ [МГц];

мощность передатчика БС (TX) $Power P_t$ [Вт];

протяженность трассы $Distance D$ [м];

коэффициенты усиления антенн передатчика БС (TX) G_t и приемника АС (RX) G_r [дБи] для произвольного типа антенны (*Arbitrary antenna*) или выбранного типа антенны *Antenna type*: полуволновый диполь с

коэффициентом усиления 2,15 дБи или четвертьволновый несимметричный диполь с коэффициентом усиления 5,15 дБи.

Исходные данные и параметры для расчетов необходимо задавать такими же, как и при *предварительных расчетах*: из цифрового стандарта ССПО; протяженность $D = d$ открытой трассы $0 < d \leq d_{\text{ПВ}}$.

Для расчета энергетических показателей нажать кнопку *Calculate*.

Онлайн-калькулятор производит расчет и строит графики зависимости мощности $p_0(f, d)$ [дБм] (*Received Power*) и напряженности электрического поля (*Electric Field*) $e_0 = 20 \lg E_0$ [дБмкВ/м] (см. формулы (8) - (12) лабораторное занятие № 1), а также абсолютных (*True Value*) и относительных (*Decibel*) значений следующих параметров сигнала в точке приема, а также некоторых вспомогательных параметров ССПО (бирюзовый фон):

- мощности принимаемого сигнала P_r [мВт] и p_r [дБмВт];
- эффективной (эквивалентной) площади антенн передатчика БС (TX) A_t и приемника АС (RX) A_r [м²];
- длины волны λ [м];
- плотности мощности поля W_r [Вт/м²].

Для определения текущих значений параметров сигнала в точке приема на произвольной дальности D можно воспользоваться желтыми маркерами, устанавливая их в выбранную точку графиков.

Зафиксировать скрин-шоты интерфейса онлайн-калькулятора при исходных данных, принятых при *предварительных расчетах*, и сделать выводы:

- о соответствии полученных результатов и результатов *предварительных расчетов*;
- о влиянии параметров цифрового стандарта ССПО и технических характеристик ССПО на параметры сигнала в точке приема.

4.2. Исследование зависимости мощности сигнала от БС на входе приемника АС для открытой трассы (двухлучевая модель).

Для перехода к онлайн расчету необходимо задать ссылку http://www.cdt21.com/resources/siryo3_02.asp. Запустить онлайн-калькулятор по ссылке *<Click to move to the calculation window>* и в новом открывшемся окне онлайн-калькулятора (рисунок 3) в правом поле в окнах желтого цвета ввести исходные данные для расчета, как и при *предварительных расчетах*, аналогично п.4.1. Дополнительно вводятся высоты приемной и передающей антенн (*Height of antenna TX* $H_t = h_1$ и *RX* $H_r = h_2$).

Для расчета энергетических показателей нажать кнопку *Calculate*.

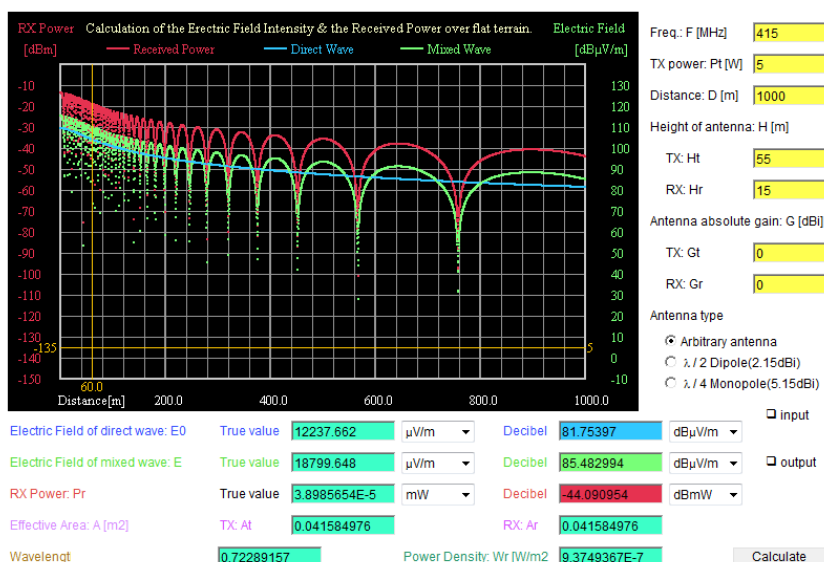


Рисунок 3 WEB-интерфейс онлайн-калькулятора (двухлучевая модель)

Онлайн калькулятор производит расчет и строит графики зависимости и параметры сигнала в точке приема, перечисленные в п.4.1, а также зависимость результирующей напряженности (*Mixed Wave*) электрического поля $e = 20 \lg E$ [дБмкВ/м] с учетом интерференции прямой (*Direct Wave*) E_0 и отраженной E_1 волн (см. рисунок 1).

Зафиксировать скрин-шоты интерфейса онлайн-калькулятора при исходных данных, принятых при предварительных расчетах, и сделать выводы:

- о соответствии полученных результатов и результатов предварительных расчетов;
- о влиянии параметров цифрового стандарта ССПО и технических характеристик ССПО на параметры сигнала в точке приема.

5. Содержание отчета

1. Название работы, задание, исходные данные для выполнения и результаты предварительных расчетов (формулы, таблицы, графики).
2. Результаты расчетов с использованием онлайн-калькулятора (скрин-шоты графиков исследуемых зависимостей).
3. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Для защиты лабораторной работы должен быть представлен отчет, оформленный с соблюдением требований ЕСКД в рукописном или печатном виде.

6. Контрольные вопросы

1. Что такое интерференция?
2. Поясните понятия: зоны освещенности, тени и полутени.
3. Нарисуйте и поясните прохождение лучей от передающей до приемной антенны в области освещенности.
4. Что такое множитель ослабления?
5. Как зависит напряженность поля от расстояния между антеннами в области освещенности?
6. Как зависит напряженность поля от высоты подвеса антенны в области освещенности?
7. В чем заключается влияние тропосферы на распространение радиоволн в свободном пространстве?
8. Что такое замирания (фединг) сигнала и каковы причины возникновения быстрых и медленных замираний?

Литература

- 1 Галкин, В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов / В.А. Галкин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. - 592 с.
- 2 Маковеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами: Учебное пособие для вузов / М.М.Маковеева, Ю.С.Шинаков. - М.: Радио и связь, 2002.- 440с.
- 3 Карташевский, В.Г. Сети подвижной связи/ В.Г. Карташевский. - М.: Эко-Трендс, 2001. - 299 с.
- 4 Circuit Design, Inc. - Radio technical ref.

Лабораторная работа № 3

Система сотовой связи стандарта GSM-900

1. Цель работы

Изучить основные технические характеристики, функциональное построение и интерфейсы, принятые в цифровой сотовой системе подвижной радиосвязи стандарта GSM.

2. Задание

- 1 Ознакомиться с характеристиками стандарта GSM.
- 2 Изучить функциональную схему и состав оборудования.
- 3 Ознакомиться с составом долговременных данных, хранящихся в регистрах HLR и VLR.
- 4 Ознакомиться с процедурой проверки сетью подлинности (аутентификации) абонента.
- 5 Составить отчет.

3. Краткие теоретические сведения

Стандарт GSM (*Global System for Mobile communications*) тесно связан со всеми современными стандартами цифровых сетей, в первую очередь с ISDN и IN (*Intelligent Network*). Основные функциональные элементы GSM входят в разрабатываемый международный стандарт глобальной системы подвижной связи UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

В соответствии с определениями ITU - T (*International Telecommunication Union - Telecommunications Standardization Sector*) сеть GSM может предоставлять следующие услуги: по переносу информации (*bearer services*); предоставления связи (*teleservices*); дополнительные (*supplementary services*).

Система GSM является цифровой системой передачи данных, речь кодируется и передается в виде цифрового потока. Кроме того, предоставляются разнообразные услуги передачи данных. Абоненты GSM могут осуществлять обмен информацией с абонентами ISDN, обычных телефонных сетей, сетей с коммутацией пакетов и сетей связи с коммутацией каналов, используя различные методы и протоколы доступа, например, X.25 или X.32. Возможна передача факсимильных сообщений, реализуе-

мых при использовании соответствующего адаптера для факс-аппарата. Уникальной возможностью GSM, которой не было в аналоговых системах, является двунаправленная передача коротких сообщений SMS (*Short Message Service*) (до 160 байт), передаваемых в режиме с промежуточным хранением данных. Адресату, являющимся абонентом SMS, может быть послано сообщение, после которого отправителю посылается подтверждение о получении. Короткие сообщения можно использовать в режиме широко вещания, например, для того, чтобы извещать абонентов об изменении условий дорожного движения в регионе. Текущие спецификации в виде дополнительных возможностей описывают услуги по переносу информации и предоставлению связи (например, перенаправление вызова в случае недоступности подвижного абонента). Ожидается появление новых возможностей, таких, как идентификация вызова, постановка вызова в очередь, переговоры сразу нескольких абонентов и др.

В соответствии с рекомендацией СЕРТ 1980 г., касающейся использования спектра частот подвижной связи в диапазоне частот 862...960 МГц, стандарт GSM на цифровую общеевропейскую сотовую систему наземной подвижной связи предусматривает работу передатчиков в двух диапазонах частот: 890...915 МГц (для передатчиков подвижных станций ПС-MS), 935...960 МГц (для передатчиков базовых станций БС-BTS).

В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (NB-TDMA). В структуре TDMA кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих.

Для защиты от ошибок в радиоканалах при передаче информационных сообщений применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения при малой скорости перемещения подвижных станций достигается медленным переключением рабочих частот (SFH) в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду.

Для борьбы с интерференционными замираниями принимаемых сигналов, вызванными многолучевым распространением радиоволн в условиях города, в аппаратуре связи используются эквалайзеры, обеспечивающие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс. Система синхронизации рассчитана на компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что соответствует максимальной дальности связи или максимальному радиусу ячейки (соты) 35 км.

В стандарте GSM выбрана гауссовская манипуляция с минимальным сдвигам (GMSK); индекс манипуляции – 0,3. Обработка речи осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи (DTX), кото-

рая обеспечивает включение передатчика только при наличии речевого сигнала и отключение передатчика в паузах и в конце разговора. В качестве речепреобразующего устройства выбран речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением / долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием (RPE/LTP – LPC – кодек). Общая скорость преобразования речевого сигнала – 13 кбит/с.

В стандарте GSM достигается высокая степень безопасности передачи сообщений; осуществляется шифрование сообщений по алгоритму шифрования с открытым ключом (RSA).

Основные характеристики стандарта GSM, функциональное построение и интерфейсы, принятые в стандарте GSM приведены в [1, 2, 6]. Основные подсистемы GSM: MSC (*Mobile Switching Centre*) – центр коммутации подвижной связи (ЦКПС); BSS (*Base Station System*) – оборудование базовой станции; OMC (*Operations and Maintenance Centre*) – центр управления и обслуживания; MS (*Mobile Stations*) – подвижные (абонентские) станции ПС.

Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется рядом интерфейсов. Все сетевые функциональные компоненты в стандарте GSM взаимодействуют в соответствии с системой общеканальной сигнализации СОКС №7 (SS №7). SS №7 стандартизована на международном уровне и предназначена для обмена сигнальной информацией в цифровых сетях связи с цифровыми программно-управляемыми станциями. Система оптимизирована для работы по цифровым каналам со скоростью 64 кбит/с и позволяет управлять процессом соединения, а также передавать информацию техобслуживания и эксплуатации. Кроме того, ее можно применять в качестве надежной транспортной системы для передачи других видов информации между станциями и специализированными центрами в сетях телекоммуникаций. SS №7 использует метод передачи сигнальной информации по специальному каналу, общему для одного или нескольких пучков информационных каналов. Сигнальная информация должна передаваться в правильной последовательности, без потерь, при этом могут быть задействованы и наземные и спутниковые каналы. Сеть SS №7 является обязательным условием создания сети стандарта GSM.

ЦКПС - MSC обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы ПС. MSC аналогичен ISDN коммутационной станции и представляет собой интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, PDN, ISDN и т.д.) и сетью подвижной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. Кроме выполнения функций обычной ISDN коммутационной станции, на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов. К ним относятся эстафетная передача, в процессе которой достигается непре-

рывность связи при перемещении ПС из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях.

Каждый MSC обеспечивает обслуживание подвижных абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны (например, Москва и область). MSC управляет процедурами установления вызова и маршрутизации. Для телефонной сети общего пользования (PSTN) MSC обеспечивает функции сигнализации по протоколу SS №7, передачи вызова или другие виды интерфейсов в соответствии с требованиями конкретного проекта.

MSC формирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передает их в центр расчетов (биллинг-центр). MSC составляет также статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети.

MSC поддерживает также процедуры безопасности, применяемые для управления доступами к радиоканалам.

MSC не только участвует в управлении вызовами, но также управляет процедурами регистрации местоположения и передачи управления, кроме передачи управления в подсистеме базовых станций (BSS). Регистрация местоположения подвижных станций необходима для обеспечения доставки вызова перемещающимся подвижным абонентам от абонентов телефонной сети общего пользования (ТфОП) или других подвижных абонентов. Процедура передачи вызова позволяет сохранять соединения и обеспечивать ведение разговора, когда подвижная станция перемещается из одной зоны обслуживания в другую. Передача вызовов в сотах, управляемых одним контроллером базовых станций (BSC), осуществляется этим BSC. Когда передача вызовов осуществляется между двумя сетями, управляемыми разными BSC, то первичное управление осуществляется в MSC. В стандарте GSM также предусмотрены процедуры передачи вызова между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. ЦКПС осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, используя регистры положения (HLR) и перемещения (VLR). В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо ПС, которая позволяет ЦКПС доставить вызов станции. Регистр HLR содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI). Он используется для опознавания ПС в центре аутентификации (AUC) (таблица 1, рисунок 1).

VLR содержит такие же данные, как и HLR, однако эти данные содержатся в VLR только до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой VLR.

Практически HLR представляет собой справочную базу данных о постоянно прописанных в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, специальная информация о маршрутизации. Ведется регистрация данных о роуминге (блуждании) абонента, включая данные о временном идентификационном номере подвижного абонента (TMSI) и соответствующем VLR.

Таблица 1 Состав долговременных данных, хранящихся в HLR и VLR

1	IMSI - международный идентификационный номер подвижного абонента
2	Номер ПС в международной сети ISDN
3	Категория ПС
4	Ключ аутентификации
5	Виды обеспечения вспомогательными службами
6	Индекс закрытой группы пользователей
7	Код блокировки закрытой группы пользователей
8	Состав основных вызовов, которые могут быть переданы
9	Оповещение вызывающего абонента
10	Идентификация номера вызываемого абонента
11	График работы
12	Оповещение вызываемого абонента
13	Контроль сигнализации при соединении абонентов
14	Свойства (средства) закрытой группы пользователей
15	Льготы закрытой группы пользователей
16	Запрещенные исходящие вызовы в закрытой группе пользователей
17	Максимальное количество абонентов
18	Используемые пароли
19	Класс приоритетного доступа
20	Запрещенные входящие вызовы в закрытой группе абонентов (только в HLR)

К данным, содержащимся в HLR, имеют дистанционный доступ все MSC и VLR сети и, если в сети имеются несколько HLR, в базе данных содержится только одна запись об абоненте, поэтому каждый HLR представляет собой определенную часть общей базы данных сети об абонентах. Доступ к базе данных об абонентах осуществляется по номеру IMSI или MSISDN (номеру подвижного абонента в сети ISDN). К базе данных

могут получить доступ MSC или VLR, относящиеся к другим сетям, в рамках обеспечения межсетевого роуминга абонентов.

Второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением ПС из зоны в зону, — регистр перемещения VLR. С его помощью достигается функционирование ПС за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого BSC, она регистрируется новым BSC, и в VLR заносится информация о номере области связи, которая обеспечит доставку вызовов ПС. Для сохранности данных, находящихся в HLR и VLR, в случае сбоя предусмотрена защита устройств памяти этих регистров.



Рисунок 1 Состав временных данных, хранящихся в HLR и VLR

В сети подвижной связи GSM соты группируются в географические зоны (LA), которым присваивается свой идентификационный номер (LAC). Каждый VLR содержит данные об абонентах в нескольких LA. Когда подвижный абонент перемещается из одной LA в другую, данные о его местоположении автоматически обновляются в VLR. Если старая и новая LA находятся под управлением различных VLR, то данные на старом VLR стираются после их копирования в новый VLR. Текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, также обновляется.

VLR обеспечивает также присвоение номера «блуждающей» ПС (MSRN). Когда подвижная станция принимает входящий вызов, VLR выбирает его MSRN и передает его на MSC, который осуществляет маршрутизацию этого вызова к БС, находящимся рядом с подвижным абонентом.

VLR также распределяет номера передачи управления при передаче соединений от одного MSC к другому. Кроме того, VLR управляет распределением новых TMSI и передает их в HLR. Он также управляет процедурами установления подлинности во время обработки вызова. По решению оператора TMSI может периодически изменяться для усложнения процедуры идентификации абонентов. Доступ к базе данных VLR может обеспечиваться через IMSI, TMSI или MSRN. В целом VLR представляет собой локальную базу данных о подвижном абоненте для той зоны, где находится абонент, что позволяет исключить постоянные запросы в HLR и сократить время на обслуживание вызовов.

BSS - оборудование базовой станции, состоит из контроллера базовой станции (BSC) и приемо-передающих базовых станций (BTS). Контроллер базовой станции может управлять несколькими приемо-передающими блоками. BSS управляет распределением радиоканалов, контролирует соединения, регулирует их очередность, обеспечивает режим работы с прыгающей частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, адаптацию скорости передачи для речи, данных и вызова, определяет очередность передачи сообщений персонального вызова.

BSS совместно с MSC, HLR, VLR выполняет некоторые функции, например: освобождение канала, главным образом, под контролем MSC, но MSC может запросить базовую станцию обеспечить освобождение канала, если вызов не проходит из-за радиопомех. BSS и MSC совместно осуществляют приоритетную передачу информации для некоторых категорий подвижных станций.

MS - подвижная станция (ПС), состоит из оборудования, которое служит для организации доступа абонентов сетей GSM к существующим фиксированным сетям электросвязи. В рамках стандарта GSM приняты

пять классов подвижных станций от модели 1-го класса с выходной мощностью 20 Вт, устанавливаемой на транспортном средстве, до портативной модели 5-го класса, максимальной мощностью 0,8 Вт. При передаче сообщений предусматривается адаптивная регулировка мощности передатчика, обеспечивающая требуемое качество связи.

Подвижный абонент и станция независимы друг от друга. Как уже отмечалось, каждый абонент имеет свой международный идентификационный номер (IMSI), записанный на его интеллектуальную карточку. Такой подход позволяет устанавливать радиотелефоны, например, в такси и автомобилях, сдаваемых на прокат. Каждой ПС также присваивается свой международный идентификационный номер (IMEI). Этот номер используется для предотвращения доступа к сетям GSM похищенной станции или станции без полномочий.

EIR- регистр идентификации оборудования, содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности международного идентификационного номера оборудования ПС (IMEI). Эта база данных относится исключительно к оборудованию ПС. База данных EIR состоит из списков номеров IMEI, организованных следующим образом:

БЕЛЫЙ СПИСОК - содержит номера IMEI, о которых есть сведения, что они закреплены за санкционированными подвижными станциями.

ЧЕРНЫЙ СПИСОК - содержит номера IMEI подвижных станций, которые украдены или которым отказано в обслуживании по другой причине.

СЕРЫЙ СПИСОК - содержит номера IMEI ПС, у которых существуют проблемы, выявленные по данным программного обеспечения, что не является основанием для внесения в «черный список».

К базе данных EIR получают дистанционный доступ MSC данной сети, а также MSC других подвижных сетей.

Как и в случае с HLR, сеть может иметь более одного EIR, при этом каждый EIR управляет определенными группами IMEI. В состав MSC входит транслятор, который при получении номера IMEI возвращает адрес EIR, управляющий соответствующей частью базы данных об оборудовании.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся механизмы аутентификации - удостоверения подлинности абонента. Центр аутентификации состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети связи. AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования абонентских станций на основе базы данных,

сосредоточенной в регистре идентификации оборудования (EIR - *Equipment Identification Register*).

Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM), который содержит, международный идентификационный номер (IMSI), свой индивидуальный ключ аутентификации (K_i), алгоритм аутентификации (A3).

С помощью заложенной в SIM информации в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью осуществляется полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети.

Процедура проверки сетью подлинности абонента реализуется следующим образом (рисунок 2).

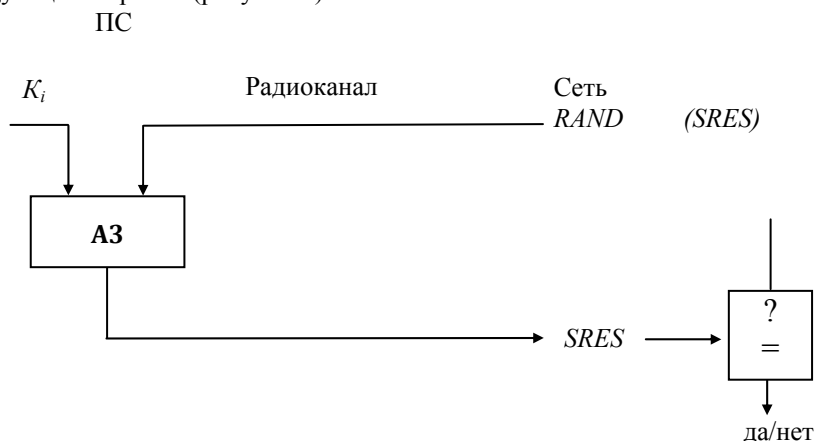


Рисунок 2 Принцип аутентификации

Сеть передает случайный номер ($RAND$) на ПС. На ней с помощью K_i и алгоритма аутентификации A3 определяется значение отклика ($SRES$):

$$SRES = K_i * [RAND]$$

ПС посылает вычисленное значение $SRES$ в сеть, которая сверяет значение принятого $SRES$ со значением $SRES$, вычисленным сетью. Если оба значения совпадают, ПС приступает к передаче сообщений. В противном случае связь прерывается, и индикатор ПС показывает, что опознавание не состоялось. Для обеспечения секретности вычисление $SRES$ происходит в рамках SIM. Несекретная информация (например, K_i) не подвергается обработке в модуле SIM.

IWF - межсетевой функциональный стык, является одной из составных частей MSC. Он обеспечивает абонентам доступ к средствам преобразования протокола и скорости передачи данных так, чтобы можно было

передавать их между его терминальным оборудованием (DIE) сети GSM и обычным терминальным оборудованием фиксированной сети. Межсетевой функциональный стык также «выделяет» модем из своего банка оборудования для сопряжения с соответствующим модемом фиксированной сети. IWF также обеспечивает интерфейсы типа прямого соединения для оборудования, поставляемого клиентам, например, для пакетной передачи данных PAD по протоколу X.25.

ЕС - эхоподавитель, используется в MSC со стороны PSTN для всех телефонных каналов (независимо от их протяженности) из-за физических задержек в трактах распространения, включая радиоканал, сетей GSM. Типовой эхоподавитель может обеспечивать подавление в интервале 68 миллисекунд на участке между выходом ЕС и телефоном фиксированной телефонной сети. Общая задержка в канале GSM при распространении в прямом и обратном направлениях, вызванная обработкой сигнала, кодированием/декодированием речи, канальным кодированием и т.д., составляет около 180 мс. Эта задержка была бы незаметна подвижному абоненту, если бы в телефонный канал не был включен гибридный трансформатор с преобразованием тракта с двухпроводного на четырехпроводный режим, установка которого необходима в MSC. так как стандартное соединение с PSTN является двухпроводным. При соединении двух абонентов фиксированной сети эхо-сигналы отсутствуют. Без включения ЕС задержка от распространения сигналов в тракте GSM будет вызывать раздражение у абонентов, прерывать речь и отвлекать внимание.

ОМС - центр эксплуатации и технического обслуживания, является центральным элементом сети GSM, который обеспечивает контроль и управление другими компонентами сети и контроль качества ее работы. ОМС соединяется с другими компонентами сети GSM по каналам пакетной передачи протокола X.25. ОМС обеспечивает функции обработки аварийных сигналов, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала, и регистрирует сведения об аварийных ситуациях в других компонентах сети В зависимости от характера неисправности ОМС позволяет обеспечить ее устранение автоматически или при активном вмешательстве персонала. ОМС может обеспечить проверку состояния оборудования сети и прохождения вызова ПС. ОМС позволяет производить управление нагрузкой в сети. Функция эффективного управления включает сбор статистических данных о нагрузке от компонентов сети GSM, записи их в дисковые файлы и вывод на дисплей для визуального анализа. ОМС обеспечивает управление изменениями программного обеспечения и базами данных о конфигурации элементов сети. Загрузка программного обеспечения в память может производиться из ОМС в другие элементы сети или из них в ОМС.

NMC - центр управления сетью, позволяет обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью GSM. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой центрами OMC, которые отвечают за управление региональными сетями. NMC обеспечивает управление графиком во всей сети и обеспечивает диспетчерское управление сетью при сложных аварийных ситуациях, как например, выход из строя или перегрузка узлов. Кроме того, он контролирует состояние устройств автоматического управления, задействованных в оборудовании сети, и отражает на дисплее состояние сети для операторов NMC. Это позволяет операторам контролировать региональные проблемы и, при необходимости, оказывать помощь OMC, ответственному за конкретный регион. Таким образом, персонал NMC знает состояние всей сети и может дать указание персоналу OMC изменить стратегию решения региональной проблемы.

NMC концентрирует внимание на маршрутах сигнализации и соединениях между узлами с тем, чтобы не допускать условий для возникновения перегрузки в сети. Контролируются также маршруты соединений между сетью GSM и PSTN во избежание распространения условий перегрузки между сетями. При этом персонал NMC координирует вопросы управления сетью с персоналом других NMC. NMC обеспечивает также возможность управления графиком для сетевого оборудования подсистемы базовых станций (BSS). Операторы NMC в экстремальных ситуациях могут задействовать такие процедуры управления, как «приоритетный доступ», когда только абоненты с высоким приоритетом (экстренные службы) могут получить доступ к системе.

NMC может брать на себя ответственность в каком-либо регионе, когда местный OMC является необслуживаемым, при этом OMC действует в качестве транзитного пункта между NMC и оборудованием сети. NMC обеспечивает операторов функциями, аналогичными функциям OMC.

NMC является также важным инструментом планирования сети, так как NMC контролирует сеть и ее работу на сетевом уровне, а следовательно, обеспечивает планировщиков сети данными, определяющими ее оптимальное развитие.

TCE - транскодер, обеспечивает преобразование выходных сигналов канала передачи речи и данных MSC (64 кбит/с ИКМ) к виду, соответствующему рекомендациям GSM по радиointерфейсу (Рек.GSM 04.08). В соответствии с этими требованиями скорость передачи речи, представленной в цифровой форме, составляет 13 кбит/с. Этот канал передачи цифровых речевых сигналов называется «полноскоростным». Стандартом предусматривается в перспективе использование полускоростного речевого канала (скорость передачи 6,5 кбит/с).

Снижение скорости передачи обеспечивается применением специального речепреобразующего устройства, использующего линейное предикативное кодирование (LPC), долговременное предсказание (LTP), остаточное импульсное возбуждение (RPE - иногда называется RELP).

Транскодер обычно располагается вместе с MSC, тогда передача цифровых сообщений в направлении к контроллеру базовых станций - BSC ведется с добавлением к потоку со скоростью передачи 13 кбит/с, дополнительных битов (стафингование) до скорости передачи данных 16 кбит/с. Затем осуществляется уплотнение с кратностью 4 в стандартный канал 64 кбит/с. Так формируется определенная Рекомендациями GSM 30-канальная ИКМ линия, обеспечивающая передачу 120 речевых каналов. Шестнадцатый канал (64 кбит/с), «временное окно», выделяется отдельно для передачи информации сигнализации и часто содержит график SSM₇ или LAPD. В другом канале (64 кбит/с) могут передаваться также пакеты данных, согласующиеся с протоколом X.25 МККТТ.

Таким образом, результирующая скорость передачи по указанному интерфейсу составляет $30 \times 64 \text{ кбит/с} + 64 \text{ кбит/с} + 64 \text{ кбит/с} = 2048 \text{ кбит/с}$.

4. Контрольные вопросы

- 1 Основные технические характеристики стандарта GSM.
- 2 Структурная схема стандарта GSM.
- 3 Назначение и функции, выполняемые ЦКПС - MSC.
- 4 Перечислить состав долговременных данных, хранящихся в регистрах HLR и VLR. .
- 5 Каким образом реализуется процедура проверки сетью подлинности абонента.
- 6 Назначение межсетевое функционального стыка IWF, эхоподавителя ЕС.
- 7 Функции, выполняемые центром эксплуатации и технического обслуживания ОМС.
- 8 Пояснить термин «приоритетный доступ». Какой блок реализует эту процедуру?
- 9 Состав оборудования базовой станции BSS. Ее назначение.
- 10 Назначение транскодера TCE.

5. Содержание отчета

- 1 .Название и цель работы.
- 2 Зарисовать структурную схему цифровой сотовой системы подвижной радиосвязи стандарта GSM с пояснениями назначения подсистем.

Литература

- 1 Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов / В.А. Галкин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. -592 с.
- 2 Маковеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами: Учеб.пособие для вузов./ М.М. Маковеева, Ю.С. Шинаков. – М.: Радио и связь, 2002. -440 с.
- 3 Карташевский, В.Г. Сети подвижной связи./ В.Г. Карташевский. - М.: Эко-Трендс, 2001. - 299 с.
- 4 Системы спутниковой связи / Под ред. Л.Я. Кантора: Учеб.пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. - 298 с.
- 5 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И. Системы мобильной связи / СПб.: СПб ГУТ, 1999.- 289 с.
- 6 Громаков, Ю.Я. Стандарты и системы подвижной радиосвязи.. - М.: ЭКО – ТРЕНДЗ,1998. - 239 с..

Лабораторная работа № 4

Исследование влияния параметров земной поверхности на энергетические показатели ССПО

1 Цель работы

1 Ознакомление с методами исследования влияния параметров земной поверхности и городской инфраструктуры на энергетические показатели ССПО с использованием моделей предсказания уровня сигнала.

2 Расчет с использованием онлайн-калькулятора геометрических параметров зоны Френеля для трасс радиосигнала в ССПО.

3 Формирование умения пользования автоматизированным онлайн-калькулятором для расчета уровня сигнала на входе приемника при высокоподнятых антеннах с учетом влияния препятствий в соответствии с моделью Окамуры–Хата.

2 Задание

1 Изучить в процессе самостоятельной подготовки основные теоретические сведения по теме данной лабораторной работы из списка рекомендованной литературы ([1], стр. 220-235; [2], стр. 201-205, 215-224).

2 Выполнить предварительные расчеты:

– зависимости размеров зоны Френеля от расстояния между БС и АС в пределах прямой видимости $d_{ПВ}$ в соответствии с формулой (6) (см. лабораторное занятие № 2) для различных вариантов расположения неровности на трассе;

– зависимости усредненной медианной мощности сигнала (УММС) $P_M = P_{C\ BX}$ и уровня мощности p_M (в дБ) сигнала от БС на входе приемника АС от протяженности трассы $0 < d \leq d_{ПВ}$, высот передающей h_1 и приемной антенн h_2 и частоты для ССПО цифрового стандарта.

3 Изучить методику учета в модели Окамуры–Хата влияния на распространение радиоволн параметров радиолинии: частоты (f), мощности передатчика ($P_{П}$), расстояния между базовой и абонентской станциями (d), высот приемной и передающей антенн (h_2 и h_1).

4 Изучить порядок использования и возможности онлайн-калькулятора и выполнить расчеты энергетических показателей ССПО с учетом влияния препятствий.

3 Краткие теоретические сведения

ССПО обычно работают в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ) (дециметровых волн). Параметры радиоканала, определенные при распространении радиоволн в свободном пространстве не могут быть полностью использованы для расчета радиолиний, так как не учитывают специфику ССПО, определяемую, прежде всего, особенностями рельефа местности и городской застройки в зоне действия ССПО. Поэтому расчет осуществляется с применением моделей предсказания уровня принимаемого радиосигнала, учитывающих параметры рельефа (высоту препятствий, их форму и взаимное расположение, наклон местности, характер жилой застройки, физические особенности поверхности и т.п.).

Основными методами учета влияния рельефа местности на трассе распространения сигнала между БС и АС на уровень сигнала в точке приема являются детерминированный и статистический (рисунок 1).



Рисунок 1 Классификация моделей описания трассы

Первый метод позволяет рассчитать ослабление сигнала на открытых трассах в зоне освещенности с конкретным профилем местности и применяется для линии связи по схеме «от точки к точке» (например, между БС и АС).

Второй метод часто применяют для ССПО, где БС должна обеспечить связь на территории соты по схеме «от точки к зоне» или «от зоны к зоне», при этом параметры рельефа (высота препятствий, их форма и вза-

имное расположение, наклон местности и т.п.) считаются случайными величинами. Рельеф местности в соте оценивают параметрами, усредненными на участках трассы протяженностью 5...10 км. Выбор энергетических параметров радиointерфейса должен обеспечить уверенный прием сигнала в зоне обслуживания БС. В точках, расположенных на границах соты, уровень принимаемого сигнала будет различаться из-за неодинакового влияния застройки и рельефа местности. Поэтому в ССПО определяют *усредненную медианную мощность сигнала (УММС)* путем усреднения по двум параметрам: по времени и по местоположению (по числу точек приема). УММС – это такое значение, которое превышает в течение 50% времени месяца и в 50% точек приема, находящихся на данном расстоянии от передающей станции. Существует ряд моделей для прогнозирования уровня радиосигнала в ССПО.

Модель Окамуры разработана на основании оригинальных экспериментальных исследований автора. В модели Окамуры используется понятие «квазигладкой» местности - территории протяженностью в несколько километров, на которой средняя высота неровностей не превышает 20 метров и приняты базовые значения высоты антенны БС $h_1^* = 200$ м и эффективной высоты антенны АС $h_2^* = 3$ м, причем первая определяется над уровнем квазигладкой поверхности.

Для такой модели уровень УММС определяется соотношением

$$p_M(d) = p_{CVX}(d) = p_0(f, d) - a_M(f, d) + H_1(h_1, d) + H_2(h_2, f), \quad (1)$$

где $p_0(f, d)$ - уровень мощности сигнала в точке приема при распространении в свободном пространстве - рассчитывается в соответствии формулой (9) (см. лабораторное занятие № 1); $a_M(f, d)$ – дополнительное ослабление сигнала в городе (медианное значение), определенное для квазигладкого городского района при базовых высотах антенн БС и АС; $H_1(h_1, d)$ – коэффициент «высота - усиление антенны БС», учитывающий, что высота антенны БС может отличаться от значения 200м; $H_2(h_2, f)$ – коэффициент «высота-усиление антенны АС», учитывающий влияние реальной высоты антенны АС.

Дополнительные величины $a_M(f, d)$, $H_1(h_1, d)$, $H_2(h_2, f)$ в (1) получены экспериментально и представлены в виде графиков [2.]

В модели Окамуры-Хата результаты экспериментальных измерений, представленные в модели Окамуры графиками, аппроксимированы аналитическими формулами [2], которые положены в основу функционирования онлайн-калькулятора.

Понятие зоны Френеля позволяет следующим образом оценить размер преграды в окрестности трассы, которая может повлиять на распро-

странение волны: если внутри окружности, проведенной вокруг точки между ПРМ и ПРД и радиус которой составляет приблизительно $0,6H_0$, нет никаких преград, то все другие преграды не будут создавать переотраженной волны и ослаблять сигналы на трассе. Первая зона Френеля представляет собой сфероид (рисунок 2), охватывающий передающую (TX) и приемную (RX) антенны, все точки которого соответствуют разности хода (*path difference*) прямого 1 и переотраженного 2 лучей, равной $\lambda/2$.

H_0 - радиус первой зоны Френеля (см.лабораторное занятие № 2):

$$H_0 = [d\lambda k(1 - k)/3]^{0,5}. \quad (2)$$

Принцип расчета ССПО в целом на основе двухлучевой модели трассы и используемые при этом параметры иллюстрируются рисунком 2.

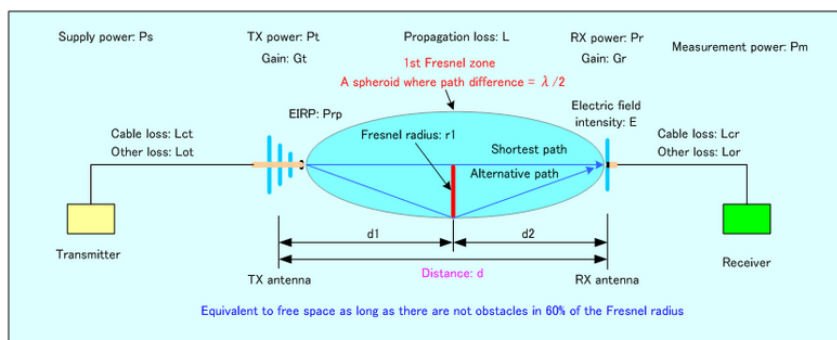


Рисунок 2 Модель ССПО с использованием двухлучевой модели трассы

Обозначения параметров ССПО, используемых в онлайн-калькуляторе, соответствуют моделям, рассмотренным в лабораторных занятиях № 1 (формулы (11), (12)) и № 2 (формулы (2), (6), рисунок 1):

- 1 выходная мощность передатчика (*Supply power*) P_S ;
- 2 потери в фидерах (*Cable loss*) передающей $L_{ct} = a_1$ и приемной антенн $L_{cr} = a_2$;
- 3 прочие потери (*Other loss*) L_{ob}, L_{or} ;
- 4 коэффициенты усиления (*Gain*) передающей (TX) $G_t = g_1$ и приемной (RX) $G_r = g_2$ антенн соответственно, выраженные в децибелах;
- 5 протяженность трассы *Distance* d [м];

- 6 уровень мощности в передающей антенне $P_t = p_{П}$;
- 7 ЭИИМ- *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)* $P_{гр} = P_{ЭИИМ}$ (формула (10), ЛР №1);
- 8 ослабление свободного пространства (*Propagationloss*) $L = a_{св}$;
- 9 уровень мощности сигнала на входе приемной антенны $P_r = p_{свх}$;
- 10 мощность сигнала на входе приемника (*Measurementpower*) P_m ;
- 11 радиус первой зоны Френеля (*Fresnelradius*) $r_1 = H_0$;
- 12 рабочая длина волны λ ;
- 13 расстояние от БС до препятствия $d_1 = d_c$.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Расчет параметров первой зоны Френеля

Обращение к онлайн расчету параметров первой зоны Френеля на трассе распространения радиоволны в ССПО осуществляется в любом браузере по ссылке http://www.cdt21.com/resources/siryo8_01.asp [4]. Для запуска онлайн-калькулятора необходимо перейти по ссылке <Click to move to the calculation window>. В новом окне откроется онлайн-калькулятор (рисунок 3).

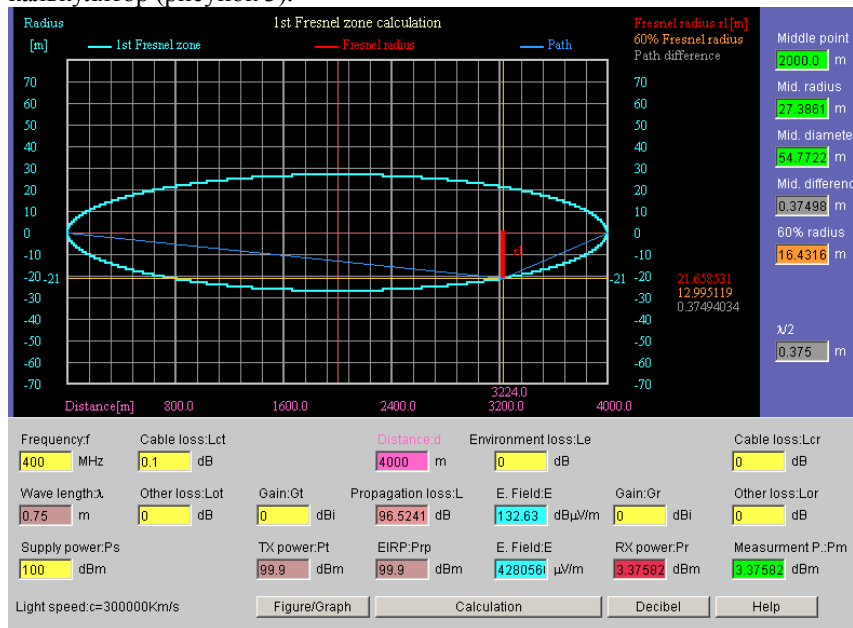


Рисунок 3 Результаты расчета параметров первой зоны Френеля

При нажатии виртуальной клавиши *Figure/Graph* происходит переход между моделью ССПО и результатами расчета. В нижнем поле в окнах желтого цвета вводятся исходные данные для расчета 1 – 5 (см. пояснения к рисунку 2) и частота связи *Frequency f* [МГц]. Остальные параметры 6 – 12, а также срединные (*Middle*) параметры зоны рассчитываются при нажатии виртуальной клавиши *Calculation*.

Зафиксировать скрин-шоты интерфейса онлайн-калькулятора при исходных данных, принятых при предварительных расчетах, и сделать выводы:

- о соответствии полученных результатов и результатов предварительных расчетов;
- о применении понятия зоны Френеля в ССПО и использовании полученных результатов для оценки параметров сигнала в точке приема.

Кроме того онлайн-калькулятор при нажатии виртуальной клавиши *Decibel* включается конвертор пересчета абсолютных и относительных электрических величин (рисунок 4).

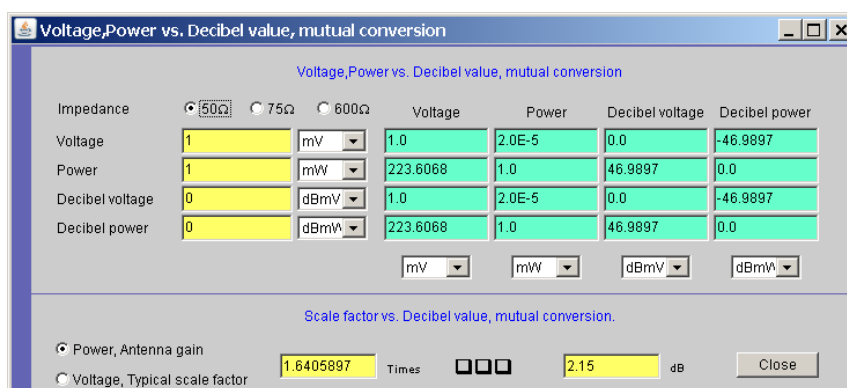


Рисунок 4 Конвертор пересчета электрических величин

4.2 Расчет уровня сигнала на входе приемника с учетом влияния препятствий в соответствии с моделью Окамуры–Хата.

Обращение к онлайн расчету трасс распространения радиоволны в ССПО по модели Окамуры - Хата осуществляется в любом браузере по ссылке http://www.cdt21.com/resources/siryo4_01.asp. Расчет, как и в лабораторном занятии №2, заключается в определении энергетических параметров радиоволн при их распространении между БС и АС в различных географических условиях (рисунок 5):

- в свободном пространстве (*Freespace*);
- открытая местность (*Openland*);
- пригород (*Suburb*);
- средний город (*Medium city*);
- большой город (*Large city*).

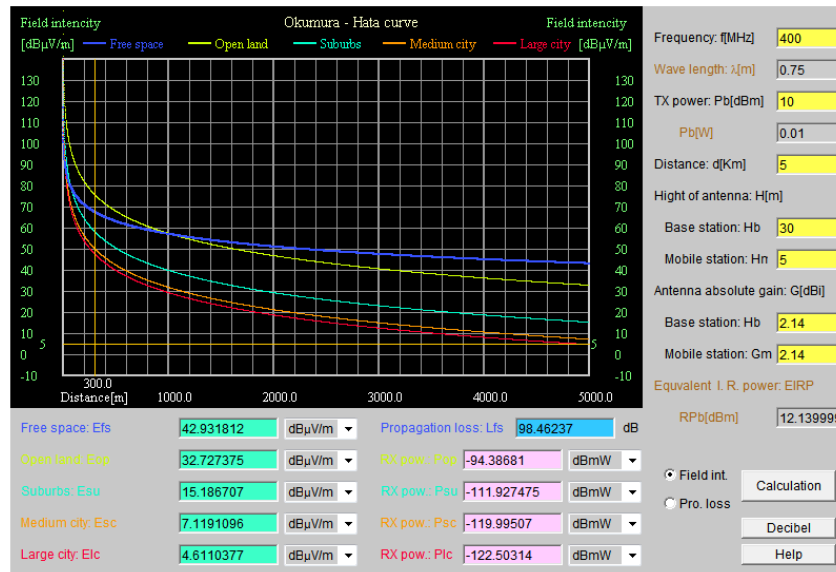


Рисунок 5 Результаты расчета трасс с учетом влияния препятствий по модели Окамуры–Хата

Графики рассчитываются для напряженности поля e [дБмкВ/м] в точке приема, а затем вычисляется мощность сигнала на максимальной дистанции.

Зафиксировать скрин-шоты интерфейса онлайн-калькулятора при исходных данных, принятых при предварительных расчетах, и сделать выводы:

- о соответствии полученных результатов и результатов предварительных расчетов;
- о применении модели Окамуры–Хата в ССПО и использовании полученных результатов для оценки параметров сигнала в точке приема.

5 Содержание отчета

1. Название работы, задание и исходные данные для выполнения работы;
2. Результаты предварительных расчетов (формулы, таблицы, графики);
2. Результаты расчетов с использованием онлайн-калькулятора (скриншоты графиков исследуемых зависимостей).
3. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Для защиты лабораторной работы должен быть представлен отчет, оформленный с соблюдением требований ЕСКД в рукописном или печатном виде.

6 Контрольные вопросы

1. Дать определение зоны Френеля и правило ее использования?
2. Что понимается под усредненной медианной мощностью сигнала (УММС)?
3. Охарактеризовать способы расчета уровня сигнала на входе приемника.
4. Дать определение понятия «квазигладкой» местности
5. Назначение и особенности применения модели Окамуры.
6. Назначение и особенности применения модели Окамуры-Хата.
7. Какие показатели позволяет рассчитывать онлайн-калькулятор?

Литература

- 1 Галкин, В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов / В.А. Галкин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. - 592 с.
- 2 Маковеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами: Учебное пособие для вузов / М.М.Маковеева, Ю.С.Шинаков. - М.: Радио и связь, 2002.- 440с.
- 3 Карташевский, В.Г. Сети подвижной связи/ В.Г. Карташевский. - М.: Эко-Трендс, 2001. - 299 с.
- 4 Circuit Design, Inc. - Radio technical ref.

Лабораторная работа № 5

Исследование и расчет основных технических характеристик спутниковых систем связи и способов их обеспечения

1 Цель работы

- 1 Ознакомиться с методами исследования и расчета основных технических характеристик спутниковых систем связи (ССС).
- 2 Расчет энергетических показателей СССР.
- 3 Формирование умения использовать прикладные программы при расчете энергетических показателей СССР.
- 4 Получение навыков использования прикладных программ для расчета параметров передатчика и приемника СССР.

2 Задание

- 1 Изучить в процессе самостоятельной подготовки основные теоретические сведения по теме данной лабораторной работы из списка рекомендованной литературы.
- 2 Изучить возможности программы MathCAD и составить программу расчета энергетических показателей СССР.
- 3 Исследование, расчет и оценка полученных энергетических показателей заданной линии СССР с помощью программы MathCAD.

3 Краткие теоретические сведения

Системы спутниковой связи (ССС), использующие многочисленные спутники связи, работающие на различных космических орбитах и диапазонах частот, позволяют существенно расширить возможности ТКС по обмену информацией. С помощью только одного ретранслятора на ИЗС можно обеспечить передачу информации на расстоянии до 15000 км, а с помощью трех ИЗС теоретически возможна организация глобальной системы связи.

ССС представляет собой сложный комплекс, в состав которого входит ЗС, бортовой ретранслятор сигналов ИЗС и комплекс систем управления. Неотъемлемой частью ЗС является антенно-фидерное устройство (АФУ), от параметров которого зависят выходные параметры СССР. Для ЗС нашли применение осесимметричные однозеркальные антенны (ООА), неосесимметричные однозеркальные антенны (НОА), двухзеркальные антенны с разнесенной фокальной осью и с

модифицированными поверхностями зеркал, двухзеркальные осесимметричные по схемам Кассегрена и Грегори.

Оптимальным местом для размещения ретранслятора является геостационарная орбита, удаленная от поверхности Земли на 36000 км, так как ИЗС при этом "зависают" и практически не меняют своего местоположения относительно неподвижной точки на Земле. Одним из преимуществ такой орбиты является отсутствие у антенны земной станции (ЗС) системы слежения за спутником.

Для обслуживания полярных и приполярных районов применяются эллиптические орбиты, низко- и средневысотные круговые орбиты ИЗС. Антенны ЗС для таких ССС имеют систему слежения за спутником, что в значительной степени увеличивает стоимостные показатели антенны ЗС, делает ее более сложной в обслуживании и монтаже, а также снижает надежность всей ССС.

В качестве волноводных передающих трактов в основном используются эллиптические гофрированные волноводы, обладающие определенной гибкостью, что позволяет придавать тракту наиболее целесообразную конфигурацию. Приемные волноводные тракты, как правило, имеют малую длину и выполняются на прямоугольных волноводах, которые соединяют приемные порты АФУ с маломощным усилителем (МШУ).

Линия спутниковой связи состоит из двух участков: ЗС→ ИЗС (линия «вверх») и ИЗС →ЗС (линия «вниз»). Основными техническими требованиями, предъявляемыми к линии, являются: пропускная способность, достоверность передачи сообщений, помехозащищенность, надежность и живучесть, электромагнитная совместимость с другими линиями, массогабаритные параметры, время развёртывания.

На линии «вверх» наблюдается большое затухание сигнала (порядка 200дБ) вследствие влияния рефракции, деполяризации, поглощения в атмосфере. Все это уменьшает плотность потока мощности на входе приемника ИЗС или ЗС. Величина сигнала также зависит от режима работы бортового ретранслятора: при односигнальном режиме (работа с 1 станцией) нет взаимных помех, а при многосигнальном режиме (работа с несколькими ЗС) – возникают взаимные помехи, которые учитываются при расчете энергетики ССС.

Исследование радиолиний, входящих в сеть ССС, заключается в энергетическом расчете и обоснованном выборе энергетических параметров аппаратуры: мощности передатчика, коэффициента шума приемника, коэффициента усиления антенн и потерь в АФУ, обеспечивающих заданные достоверность и надежность работы сети. В

связи с этим возникает вопрос об определении взаимосвязи параметров антенн ЗС и ретранслятора с основными параметрами ССС.

4 Порядок выполнения работы

Выполнение исследования энергетических параметров радиолинии иллюстрируется расчетом линии «вверх» для ССС, технические параметры которой указаны в таблицах 1 - 3:

- определить параметры передатчика и приемника на линии «вниз», при которых спутниковый канал надежно работает в условиях помех и не содержит излишних энергетических запасов;
- построить диаграмму уровней сигнала на линии «вверх».

Таблица 1 Параметры передающей ЗС

Параметры	Значения
Координаты	52° в.д.; 47° с.ш.
Диапазон f , ГГц	14↑/11↓
Диаметр антенны D_A , м	10
Эффективная полоса частот $\Delta f_{ш}$, МГц	33
Спектральная плотность мощности S , дБВт/Гц	-33
Отношение сигнал/шум $P_c/P_{ш}$, дБ	16,5
КПД АФ тракта	0,90

Таблица 2 Параметры бортового ретранслятора КС

Параметры	Значения
Координаты	78° в.д.; 47° с.ш.
Диапазон f , ГГц	14↑/11↓
Коэффициент усиления антенны G , дБ	
прием	35
передача	30
Спектральная плотность мощности S , дБВт/Гц	-53
Коэффициент шума приемника $K_{ш}$	7,5
Шумовая температура антенны T_A , К	50
КПД АФ тракта	0,90
Шумовая температура СЛ $T_{\Sigma Л}$, К	95

Таблица3 Параметры приемной ЗС

Параметры	Значения
Координаты	78° в.д.; 42° с.ш
Диапазон f , ГГц	14↑/11↓
Диаметр антенны D_A , м	6
Эффективная полоса частот $\Delta f_{ш}$, МГц	36
Коэффициент шума приемника $K_{ш}$	7,5
Шумовая температура антенны T_A , К	90
КПД АФ тракта	0,85

В расчетах необходимо учесть дополнительное ослабление энергии радиоволн на участках: поглощение в атмосфере(осадках) $L_{А,д} = 0,8$ дБ, поляризационные потери (из-за несогласованности поляризации антенн) $L_{П,д} = 0,9$ дБ, потери за счет рефракции $L_{Р,д} = 0,2$ дБ.

Коэффициент запаса для линии «вверх» $a = 6$ дБ.

Последовательность энергетического расчета линии «вверх»

4.1 Расстояние между антеннами передающей ЗС и приемной КС

$$d_{\uparrow} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(\psi)}, \quad (1)$$

$$\cos(\psi) = \cos(\xi_{ЗС}) \cdot \cos(\beta) \quad (2)$$

где $\xi_{ЗС}$ – широта ЗС; $\beta = \beta_{КС} - \beta_{ЗС}$ – разность долгот ЗС и КС.

$$\beta = 52^{\circ} - 78^{\circ} = -26^{\circ}; \cos(\psi) = \cos(47^{\circ}) \cdot \cos(-26^{\circ}) = 0,613;$$

$$d_{\uparrow} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,613} = 3,9 \cdot 10^4 \text{ км.}$$

4.2 Ослабление сигнала при распространении

$$L_{0p} = 16 \cdot \pi^2 \cdot d_{\uparrow}^2 / \lambda^2, \quad (3)$$

где λ – длина волны: $\lambda_{\uparrow} = c/f_{\uparrow} = 3 \cdot 10^8 / 14 \cdot 10^9 = 0,021$ м;

$$L_{0,p\uparrow} = 16 \cdot 3,14^2 \cdot (3,9 \cdot 10^7)^2 / 0,021^2 = 5,4 \cdot 10^{20}.$$

$$L_{0,д} = 10 \lg L_{0,p} = 207 \text{ дБ.}$$

4.3 Дополнительное ослабление на трассе

В дополнительных потерях сигнала учитываются поглощение в атмосфере (осадки), потери из-за несогласованности поляризации антенн и потери из-за рефракции

$$L_{\text{доп,д}} = L_{A,\text{д}} + L_{\Pi,\text{д}} + L_{P,\text{д}}. \quad (4)$$

$$L_{\text{доп,д}} = 0,8 + 0,9 + 0,2 = 1,9 \text{ дБ};$$

$$L_{\text{доп,р}} = 10^{0,1L_{\text{доп,дБ}}} = 1,55.$$

4.4 Суммарная шумовая температура приемного тракта КС

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot \frac{1-\eta}{\eta} + \frac{T_{\text{ш}}}{\eta}, \quad (5)$$

где T_A – шумовая температура приемной антенны КС; $T_0 \approx 290$ К - стандартная температура; $T_{\text{ш}}$ – собственная шумовая температура приемника:

$$T_{\text{ш}} = (K_{\text{ш}} - 1) \cdot T_0; \quad (6)$$

$$T_{\text{ш}} = (7,5 - 1) \cdot 290 = 1885 \text{ К}; \quad T_{\Sigma} = 50 + 290 \cdot \frac{(1-0,9)}{0,9} + \frac{1885}{0,9} = 2176 \text{ К}.$$

4.5 Коэффициент усиления антенны передатчика ЗС

$$G_{\text{ПРД}} = 10 \cdot g \cdot D_A^2 / \lambda^2, \quad (7)$$

где $g = 0,6 \dots 0,8$ – коэффициент использования поверхности антенны ЗС.

$$G_{\text{ПРД}} = \frac{10 \cdot 0,7 \cdot 10^2}{0,021^2} = 1587 \cdot 10^3. \quad g_{\text{ПРД}} = 10 \lg G_{\text{ПРД}} = 62 \text{ дБ}.$$

4.6 Требуемая мощность передатчика ЗС

$$P_{\text{ПРД(ЗС)}} = \frac{L_{0\uparrow} \cdot L_{\text{доп,р}} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}} \cdot a \cdot \left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\Sigma}}{G_{\text{ПРД}} \cdot G_{\text{ПРМ}} \cdot \eta_{\text{ПРД}} \cdot \eta_{\text{ПРМ}}}, \quad (8)$$

где $\Delta f_{\text{ш}}$ – шумовая полоса приемника КС; $a = 6$ дБ (4) – коэффициент запаса для линии «вверх».

Коэффициент усиления антенны приемника КС равен $10^{3,5} = 3162$.
Подставив в формулу (7) данные, получим

$$P_{\text{ПРД(ЗС)}} = \frac{(5,4 \cdot 10^{20}) \cdot 1,55 \cdot (1,38 \cdot 10^{-23}) \cdot 2176 \cdot (33 \cdot 10^6) \cdot 4 \cdot 44,7}{1587 \cdot 10^3 \cdot 3162 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 1,11 \text{ Вт};$$

$$p_{\text{ПРД(ЗС)}} = 10 \lg P_{\text{ПРД(ЗС)}} = 0,45 \text{ дБВт.}$$

4.7 Суммарная мощность шумов на входе приемника

$$P_{\text{ш}} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}}. \quad (9)$$

$$P_{\text{ш}} = (1,38 \cdot 10^{-23}) \cdot 2176 \cdot (33 \cdot 10^6) = 0,99 \cdot 10^{-12} \text{ Вт};$$

$$p_{\text{ш}} = 10 \lg P_{\text{ш}} = -120 \text{ дБ.}$$

4.8 Диаграмма уровней мощности сигнала на участках «вверх»

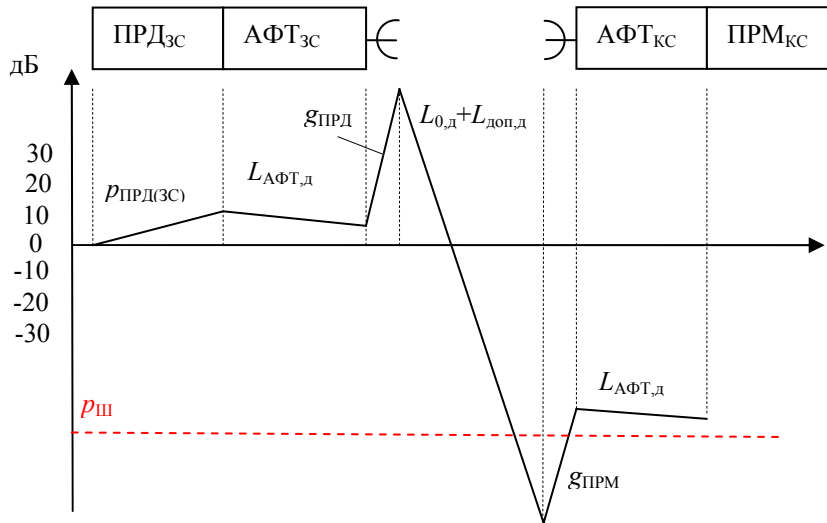


Рисунок 1 Распределение мощностей и потерь сигнала на трассе

5 Содержание отчета

1 Название работы, задание, структурная схема ССС и исходные данные для выполнения работы.

2 Результаты исследований и расчетов энергетических показателей заданной линии ССС с помощью программы *MathCAD*.

3 Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Для защиты лабораторной работы должен быть представлен отчет, оформленный с соблюдением требований ЕСКД в рукописном или печатном виде.

6 Контрольные вопросы

1 Классификация ССС и параметры орбит ИСЗ, достоинства и недостатки.

2 Структурная схема ССС и ее частотный план.

3 Перечислить основные параметры ССС.

4 Особенности распространения радиоволн на трассах ССС.

5 Способы повышения энергетических показателей ССС.

Литература

1 Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов / В.А. Галкин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. -592 с.

2 Макоеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами: Учеб.пособие для вузов./ М.М. Макоеева, Ю.С. Шинаков. – М.: Радио и связь, 2002. - 440 с.

3 Карташевский, В.Г. Сети подвижной связи./ В.Г. Карташевский. - М.: Эко-Трендс, 2001. - 299 с.

4 Системы спутниковой связи / Под ред. Л.Я. Кантора: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных сокращений и обозначений	3
Общие положения	4
Лабораторная работа 1 Исследование и расчет основных технических характеристик ССПО и способов их обеспечения	5
Лабораторная работа 2 Исследование энергетических показателей ССПО при высоко- поднятых антеннах	12
Лабораторная работа 3 Система сотовой связи стандарта GSM-900	19
Лабораторная работа 4 Исследование влияния параметров земной поверхности на энергетические показатели ССПО	34
Лабораторная работа 5 Исследование и расчет основных технических характеристик спутниковых систем связи и способов их обеспечения	42