

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Самоорганизующиеся сети мобильной связи»
для студентов направления подготовки
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Направленность (профиль)
«Интеллектуальная обработка данных в инфокоммуникационных
системах и сетях»



РАБОТА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ RPS-2

1.1. Краткие сведения по моделированию систем радиосвязи

Целью моделирования радиосетей является решение следующих ключевых задач:

- 1) частотно-территориальное планирование сети, обеспечивающее минимизацию внутрисистемных помех, максимальный охват территории с требуемым качеством передачи информации и ЭМС с существующими радиотехническими средствами;
- 2) верификация характеристик действующей сети;
- 3) оптимизация методов преобразования и передачи информации проектируемой сети;
- 4) оптимизация параметров оборудования, предназначенного для работы в данной сети.

Для решения перечисленных задач моделирования радиосетей требуются следующие исходные данные:

1. Карта местности, необходимая для адекватного описания условий распространения сигналов в рассматриваемом регионе; при использовании модели в компьютерных автоматизированных системах проектирования радиосетей карта местности должна быть представлена в электронном виде в одном из стандартных форматов (например, «MapInfo» или «Панорама»).
2. Сведения о законе распределения абонентов (трафике) на рассматриваемой территории и их характеристиках (удельной эрланговой нагрузке), заданные аналитически или представленные в обменном формате картографических данных.
3. Технические характеристики планируемой сети (технология передачи и обработки информации, частотный диапазон, требуемое отношение сигнал/шум и т. д.), указанные в ее стандарте.

4. Характеристики применяемого оборудования.

5. Координаты и технические характеристики радиосредств, функционирующих в рассматриваемом регионе, необходимые для расчета показателей ЭМС проектируемой и действующих в данном регионе сетей.

В связи с многообразием и сложностью задач моделирования радиосетей трудно рассчитывать на реализацию в одной универсальной модели полного набора функций, необходимых для решения всех перечисленных задач. Поэтому в настоящее время сложилось несколько специализированных типов автоматизированных компьютерных систем анализа и оптимизации характеристик беспроводных сетей, каждому из которых присущи свои особенности применяемых моделей. Среди них следует выделить четыре ключевых типа:

- системы частотно-территориального планирования радиосетей (применяются на этапе развертывания новых или модернизации существующих радиосетей различного назначения для оптимального выбора мест и состава оборудования приемопередающих станций);

- системы, обеспечивающие решение задач электромагнитной совместимости радиосетей (применяются, как и первые, на этапе развертывания новых или модернизации существующих радиосетей различного назначения для согласования их параметров с параметрами других сетей с целью минимизации взаимных помех);

- системы мониторинга качества работы существующих сетей (применяются для измерения и последующего анализа характеристик сети в реальных условиях ее функционирования);

- системы, предназначенные для оптимизации принципов передачи информации и параметров оборудования разрабатываемых сетей.

На рис. 1.1 изображены важнейшие составляющие радиосетей, необходимые для решения ключевых задач их проектирования, а также основные компоненты применяемых при этом компьютерных моделей.

Ключевым элементом математической модели радиосети является блок расчета уровня сигнала в заданной точке приема от заданного источника и положенная в его основу модель распространения сигнала (модель радиоканала). Важным также является блок расчета отношения сигнал/(шум + помеха), используемого для определения всех важнейших характеристик сети.

Лабораторные работы данного раздела предназначены для освоения студентами принципов частотно-территориального планирования



сетей мобильной связи (СМС) с помощью программного продукта RPS-2 (Radio Planning System) – разработки кафедры радиоэлектроники Московского института электронной техники.

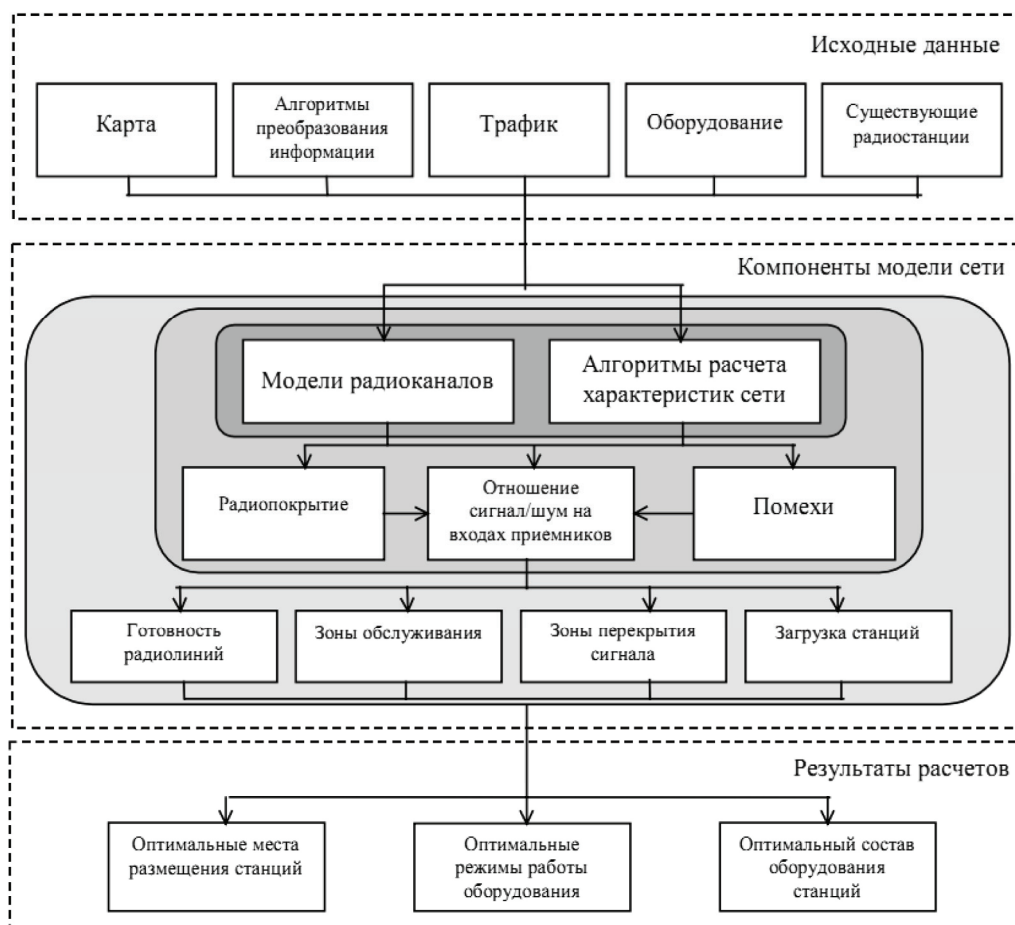


Рис. 1.1. Компоненты модели радиосети

Исходными данными для проведения расчетов являются:

- 1) цифровые карты местности;
- 2) база данных с характеристиками применяемого оборудования (частотный диапазон, диаграммы направленности и усиления антенн, частотные и энергетические характеристики приемопередатчиков, потери в фидерах и т. д.).

Программа позволяет:

– размещать радиостанции в заданном месте рассматриваемой территории, работающие в любом стандарте (NMT-450, AMPS, D-AMPS, GSM, IS-95, SmarTrunk, TETRA, MPT 1327, ED ACS и т. д.); кроме того, имеется возможность определить новый стандарт

проектируемой сети, введя его основные параметры: частотный диапазон, ширину канала и т. д.;

- определять для радиостанций оптимальный состав оборудования из базы данных; задавать и редактировать распределение плотности трафика в рассматриваемом регионе, что позволяет анализировать характеристики сотовых и транкинговых систем в условиях различной загрузки;

- рассчитывать, отображать на экране и выдавать на печать основные характеристики планируемой сети;

- рассчитывать показатели электромагнитной совместимости (уровень взаимных помех) планируемой сети с другими сетями;

- оптимизировать параметры планируемой сети путем изменения местоположения радиостанций, а также варьируя состав и технические характеристики размещаемого на них оборудования;

- отображать результаты измерений уровня принимаемого сигнала и сравнивать их с результатами расчета с последующей оптимизацией параметров применяемых математических моделей расчета.

Программу RPS-2 можно применять для планирования как макро-, так и микроячеек сотовых сетей, включая микросотовые системы, работающие внутри зданий. Как и во всех системах подобного рода, ключевым компонентом программы RPS-2 является положенная в ее основу модель радиоканала. В RPS-2 заложена возможность выбора пользователем одной из нескольких моделей распространения сигналов, в том числе строгой модели (модель RPS), максимально полно учитывающей все основные факторы, влияющие на уровень принимаемого сигнала (рис. 1.2).

Рассчитанные с помощью строгой модели уровни сигналов от всех источников сигнала в рассматриваемом регионе являются основой для выполнения анализа их электромагнитной совместимости. На этом этапе определяются источники, частотный диапазон излучения которых пересекается с диапазоном анализируемого приемника и выдается отчет об уровне помех от каждого такого излучателя с указанием степени влияния каждого из них на ухудшение порогового сигнала на входе данного приемника.

Эти данные позволяют принять верное решение о работоспособности проектируемой сети и оптимизировать места расположения и характеристики используемого оборудования.

Перед выполнением определенных действий представлены соответствующие основные теоретические положения. Лабораторный практикум поможет студенту в изучении практического материала и приобретении навыков решения конкретных практических задач.



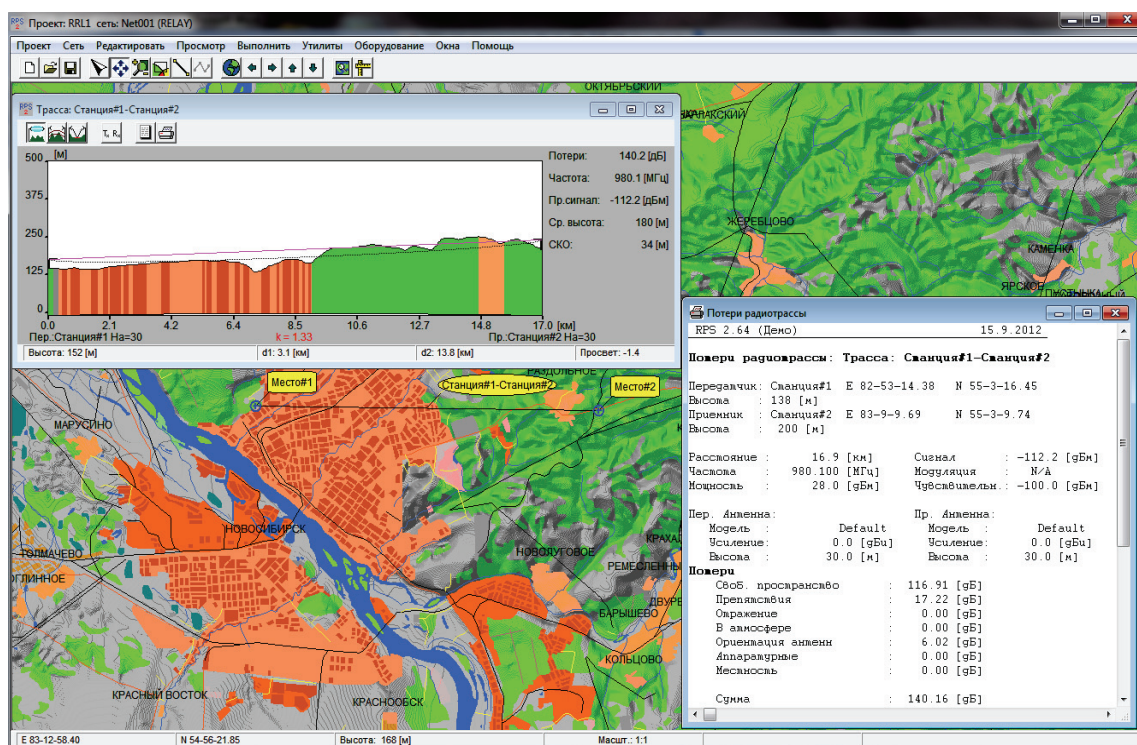


Рис. 1.2. Анализ в программе RPS-2 профиля радиолинии и факторов, влияющих на характеристики распространения сигналов

Программный пакет RPS-2 представляет собой среду, позволяющую производить приближенный расчет параметров, а также моделирование и разработку различных систем и сетей мобильной связи.

Эффективность использования пакета RPS-2 определяется:

- 1) достаточно простым интерфейсом пользователя;
- 2) большим количеством моделей функциональных блоков (в частности, элементов систем связи);
- 3) возможностью размещать элементы сети связи, а также редактировать карту местности;
- 4) разнообразием видов функциональных элементов систем подвижной связи.

1.2. Возможности пакета RPS-2

Программный пакет RPS-2 позволяет проводить частотно-территориальное планирование и выполнять все необходимые расчеты для оценки качества связи и зон обслуживания радиосети на основе реальных данных о рельефе местности.

Функции RPS следующие:

1. Размещение базовых станций с привязкой по географическим координатам или по месту на цифровой электронной карте.
2. Размещение препятствий (не отраженных на цифровой карте) с привязкой по географическим координатам или по месту на цифровой электронной карте.
3. Редактирование карты местности путем задания дополнительных высот для отдельных типов местности (лес, городские кварталы и т. п.).
4. Задание и редактирование карты трафика на рассматриваемой территории.
5. Поддержка локальных баз данных оборудования: антенн, диаграмм направленности, приемопередатчиков.
6. Отображение профиля местности между двумя выбранными точками.
7. Определение и отображение точек прямой видимости в заданной окрестности базовой станции.
8. Расчет и отображение уровня принятого сигнала в заданной окрестности базовой станции.
9. Задание коэффициентов, корректирующих потери распространения, для отдельных типов местности.
10. Вывод результатов расчетов на печатающее устройство.
11. Преобразование электронных карт из форматов MAPINFO и PLANET во внутренний формат RPS.

Для сотовых сетей RPS позволяет провести:

- расчет максимального уровня принятого сигнала от нескольких базовых станций;
- расчет зон обслуживания для нескольких базовых станций;
- оценку мощности передатчика абонента, необходимой для связи с базовой станцией;
- расчет отношения сигнал/помеха в указанной области;
- расчет зон перекрытия сигнала от базовых станций;
- оценку загруженности базовых станций;
- расчет максимального уровня принятого сигнала вдоль выбранного маршрута;
- статистический анализ и отображение результатов измерения принятого сигнала;
- сравнение результатов расчета уровня принятого сигнала вдоль выбранного маршрута с реальными измерениями.



1.3. Моделирование систем связи в RPS-2

Порядок работы с программой:

- 1) задать общие параметры для нового проекта, имена рабочих каталогов и выбрать тип первой сети проекта;
- 2) открыть новый проект. При этом создается описание первой «пустой» сети;
- 3) установить параметры сети, выбрав радиостандарт или задав собственный набор сетевых параметров;
- 4) настроить параметры, описывающие свойства различных типов местности: высоту, коэффициенты, корректирующие потери распространения, распределение трафика;
- 5) осуществить планирование сети связи. В ходе этой операции на цифровой карте размещаются базовые станции и выбираются их параметры. В радиорелейных сетях устанавливаются связи между станциями (формируются радиолинии). При необходимости в базы данных оборудования добавляются новые элементы;
- 6) выполнить необходимые расчеты и распечатать (или сохранить) результаты. В расчетах во внимание принимаются лишь объекты, определенные в данной сети.

В рамках одного проекта можно сформировать несколько сетей разных типов. Однако в данной версии (RPS-2) наличие других сетей не учитывается в расчетах, т. е. сети независимы друг от друга.

Прежде чем начать работу с RPS, необходимо подготовить цифровую карту района и сформировать базы данных оборудования.

Создание проекта в RPS. Проект RPS включает в себя всю информацию, связанную с планированием радиосетей в некотором регионе (рабочей области), который определяется цифровой картой местности. Для одного региона может быть создано несколько проектов, но в одном проекте нельзя объединить несколько регионов, определяемых разными цифровыми картами.

Проект сохраняется на диске в текстовом файле с расширением «рго».

В состав проекта входят следующие компоненты:

- имя каталога с цифровой картой региона;
- имя каталога с базами данных оборудования;
- имя рабочего каталога, в котором сохраняются результаты расчетов;
- общие параметры, относящиеся ко всему региону;

- описание сетей, размещенных в данном регионе;
- перечень базовых станций и их параметров для каждой сети;
- перечень радиолиний для радиорелейных сетей;
- информация о выполненных расчетах;
- перечень дополнительных препятствий, корректирующих цифровую карту, и их параметры;
- характеристики типов местности, учитываемые в расчетах;
- атрибуты объектов, отображаемых на экране.

Развитие проекта предусматривает размещение новых объектов (сетей, станций, радиолиний и т. д.), изменение параметров и удаление ранее созданных объектов. Результаты расчетов, требующих больших затрат времени, сохраняются на диске, информация о них хранится в проекте и используется для отображения результатов без проведения повторных расчетов. Базы данных оборудования могут расширяться и редактироваться независимо от проекта и использоваться в нескольких проектах одновременно. Следует учитывать, что изменение параметров оборудования в базе данных скажется на результатах расчетов во всех проектах, ссылающихся на эту базу данных.

1.4. Интерфейс RPS-2

Главное окно. В RPS главное окно используется для отображения карты местности и размещения объектов (станций, радиолиний, маршрутов, препятствий и т. п.).

Главное окно можно перемещать для отображения различных участков цифровой карты региона. В главном окне выполняются операции масштабирования карты. При перемещении указателя мыши в строке состояния в нижней части главного окна отображаются географические координаты текущей точки и высота точки над уровнем моря.

Вспомогательные окна. Вспомогательные (дочерние) окна используются для вывода результатов расчетов. Дочерние окна могут быть перемещены в любое место в пределах главного окна и могут быть «свернуты» в пиктограмму.

Содержимое вспомогательного окна, имеющего в верхнем левом углу значок iS, может быть выведено на печать. Содержимое текстовых окон может быть сохранено в файле.

Действия с мышью. С помощью мыши в RPS выполняются следующие действия:

- выбор команд из главного меню;
- выбор места при создании новых объектов;
- доступ к объектам, отображенным на экране, для редактирования их параметров;
- выбор точек для построения профиля местности;
- задание прямоугольных областей для расчетов и печати.

Левая кнопка мыши используется для выбора команд из меню и доступа к объектам; правая кнопка – для вывода на экран контекстных всплывающих меню, содержащих набор команд, зависящий от режима работы и типа объекта, над которым нажата правая кнопка мыши.

В зависимости от режима работы курсор мыши может принимать одну из следующих форм:

-  вид курсора в режиме выбора/создания объектов;
-  курсор над объектом в режиме выбора объектов;
-  вид курсора в режиме масштабирования карты;
-  курсор над объектом в режиме перемещения объектов;
- ✓ вид курсора в режиме выбора линий прямоугольных областей.

Главное меню. В RPS используется иерархическая система меню. Для выбора действия или перехода к следующему уровню меню следует поместить указатель мыши над соответствующим пунктом меню и нажать левую кнопку мыши. Для возврата на предыдущий уровень меню следует нажать на клавишу «Esc». Ниже приведен перечень пунктов главного меню.

Проект – операции с проектом (открыть, создать новый проект, сохранить, закрыть, настроить общие параметры проекта, настроить параметры печати, завершить работу RPS).

Сеть – создание новой сети в текущем проекте, переключение между сетями, редактирование общих параметров сети.

Редактировать – редактирование параметров объектов текущей сети.

Просмотр – выбор вида отображения карты местности, выбор масштаба карты, включение (выключение) отображения результатов расчетов.

Выполнить – выполнение расчетов.

Утилиты – настройка общих параметров отображения объектов.

Оборудование – доступ к базам данных оборудования.

Окна – стандартное меню Windows для управления дочерними окнами.

Помощь – вызов справочной подсистемы RPS.

Панель инструментов. Линейка инструментов расположена под главным меню и содержит пиктограммы для переключения режимов работы и выполнения часто используемых команд. Ниже приведен список пиктограмм и соответствующие им команды меню.

-  создать новый проект (меню Проект/Новый);
-  открыть существующий проект (меню Проект/Открыть);
-  сохранить проект (меню Проект/Сохранить);
-  установить режим создания/редактирования параметров объектов (меню Просмотр/Режим редактирования);
-  установить режим перемещения объектов (меню Просмотр/Режим перемещения);
-  установить режим масштабирования карты (меню Просмотр/Режим масштабирования);
-  установить режим выбора прямоугольной области (меню Просмотр/Выбор прямоугольника);
-  установить режим выбора линии для построения профиля (меню Просмотр/Выбор линии);
-  установить режим выбора маршрута (меню Просмотр/Выбор трассы);
-  вывод полной карты региона (меню Просмотр/Навигатор);
-  сдвиг главного окна влево (меню Просмотр/Переместить окно/Влево);
-  сдвиг главного окна вправо (меню Просмотр/Переместить окно/Вправо);
-  сдвиг главного окна вверх (меню Просмотр/Переместить окно/Вверх);
-  сдвиг главного окна вниз (меню Просмотр/Переместить окно/Вниз);
-  настройка параметров карты (меню Утилиты/Параметры карты);
-  настройка параметров объектов (меню Утилиты/Параметры объектов).

Использование цифровых карт. С каждым проектом RPS должна быть связана цифровая карта местности, в которой проводится моделирование. Имя каталога, в котором размещается карта, задается при создании нового проекта. В ходе работы карта местности используется для размещения объектов (станций, радиолиний) и отображения результатов расчетов.

Цифровая карта включает в себя три составляющих: растровые, векторные и текстовые данные. Растровые данные содержат информацию

о высоте и типе местности для каждой точки местности. Эта информация используется во всех расчетах и является обязательной. Векторные и текстовые данные описывают вспомогательные объекты, такие как дороги, реки, названия населенных пунктов. Векторные и текстовые объекты используются только при отображении карты и не являются обязательными.

В RPS реализованы три базовые формы представления растровой информации:

- карта типов местности. Цветом выделяются различные типы местности;
- карта относительных высот. Высота местности выделяется оттенком серого цвета, высоким точкам соответствует более светлый оттенок;
- карта рельефа.

На любой из перечисленных видов карт можно дополнительно наложить линии уровня, векторные и текстовые объекты.

Работа с базами данных RPS. В RPS-2 поддерживаются следующие базы данных оборудования:

- база данных антенн с диаграммами направленности (файл antenna.sdb);
- база данных приемопередатчиков (файл trxdata.sdb);
- база данных волноводов (файл wgdata.sdb).

Параметры оборудования, содержащегося в базах данных, используются для инициализации параметров станций. При создании новой станции указывается тип антенны, приемопередатчика и волновода. Программа RPS-2 выбирает параметры указанных устройств из базы данных и копирует их в набор параметров станции. Некоторые параметры могут быть уточнены для конкретной станции. Базы данных должны размещаться в одном каталоге, путь к которому указывается при создании проекта. Одни и те же базы данных оборудования могут использоваться в разных проектах.

1.5. Лабораторная работа № 1

ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТИ GSM-900

Цель работы: приобретение навыков работы с цифровой картой местности; выполнение расчетов, необходимых для оценки качества связи и зон обслуживания радиосети на основе реальных данных о рельефе местности.



Краткие теоретические сведения

Сотовые системы реализуют двунаправленную беспроводную связь между фиксированной частью системы, т. е. расположенной в соответствующем месте базовой станции (БС), и мобильными станциями (МС), которые перемещаются по территории, охватываемой системой базовых станций. Зона охвата системы сотовой мобильной связи (ССМС) разделена на подзоны, обслуживаемые базовыми станциями, которые располагаются, как правило, в их центрах. Зону покрытия одной базовой станции можно символически обозначить правильным шестиугольником, поэтому ее часто называют сотой. Соты – это территория, обслуживаемая одной БС при всенаправленных антеннах. Причина деления зоны обслуживания системы на соты – недостаточная емкость единственной БС, которая имела бы достаточную мощность и могла бы обеспечить радиопокрытие всей территории в той же ограниченной полосе частот, что и система БС. Под емкостью здесь понимается максимальное количество мобильных станций, одновременно обслуживаемых системой, приходящихся на 1 Гц и на 1 км².

В ССМС, в которой используется метод множественного доступа с частотным разделением каналов (FDMA), каждой МС для передачи сигнала требуется B Гц, и каждой ССМС выделен частотный диапазон шириной $M \times B$ Гц. Каждый диапазон шириной B Гц можно назвать каналом.

Система с одной БС, излучающей мощный сигнал и покрывающей всю территорию, предоставляет M каналов и может одновременно обслужить только M мобильных станций. Разделение зоны покрытия системы на соты и их нумерация позволяют многократно использовать каналы, если эти M каналов соответствующим образом распределить по N различным типам сот.

Рассмотрим правила проектирования сот и распределения каналов «на инженерном уровне». При этом предполагается гексагональная форма сот и приблизительно равный их размер. Таким образом, задача проектирования сети состоит в разбиении обслуживаемой территории на соты и сопоставлении каждой соте частоты или группы частот.

Ключевой принцип работы сотовой системы заключается в многократном использовании одних и тех же частотных каналов в различных сотах, расположенных соответствующим образом в зоне покрытия системы. Основой частотно-территориального планирования (ЧТП) является кластер. Кластер образован совокупностью соседних



сот, в которых используются разные частотные группы. Число таких сот в кластере называется его размерностью. Все частотные каналы системы делят между БС, входящими в один кластер.

Если радиус окружности, описанной вокруг каждого шестиугольника, равен R , то расстояние между двумя соседними шестиугольниками равно $\sqrt{3}R$. Примем его за единицу длины. В системе координат с углом между осями координат, равным 60° , расстояние от центра любого шестиугольника до начала координат составляет

$$D = \sqrt{3}R\sqrt{i^2 + ij + j^2}, \quad (1.1)$$

где i и j – координаты центра рассматриваемого шестиугольника, выраженные в принятых единицах длины, равных $\sqrt{3}R$ (рис. 1.3).

Площадь одной гексагональной соты радиуса R равна

$$A_R = \frac{3}{2}\sqrt{3}R^2, \quad (1.2)$$

а площадь большого шестиугольника, равного сумме N площадей шестиугольников радиуса R , центры которых расположены на расстоянии D друг от друга, составляет

$$A_{D/\sqrt{3}} = \frac{3}{2}\sqrt{3}\left(\frac{D}{\sqrt{3}}\right)^2. \quad (1.3)$$

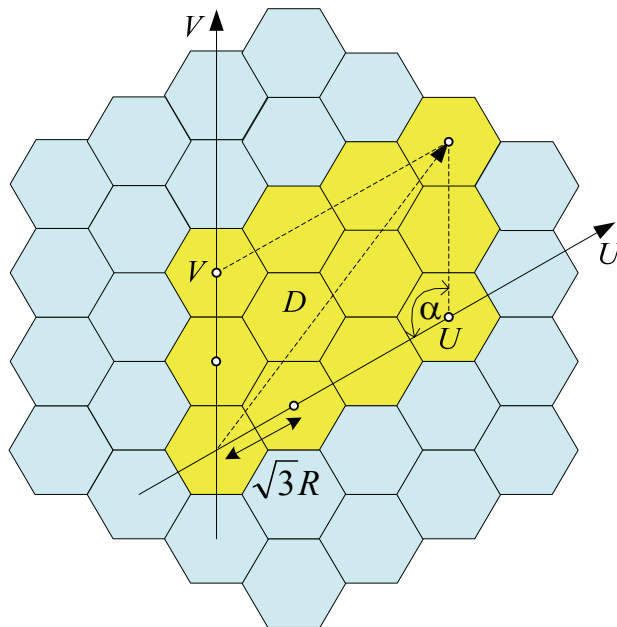


Рис. 1.3. Разделение зоны покрытия системы на соты

Количество N сот в кластере:

$$N = i^2 + ij + j^2. \quad (1.4)$$

Очевидно, что количество сот в кластере не ограничено. Кластер может состоять из одной, трех, четырех, семи, двенадцати сот и т. д.

На основании (1.1) и (1.4) можно получить важное соотношение:

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}. \quad (1.5)$$

Параметр Q называется *коэффициентом ослабления внутриканальных помех*.

Расстояние D зависит от отношения мощности сигнала S к мощности помехи I . В свою очередь, это отношение зависит от количества влияющих друг на друга сот K_0 согласно формуле

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{k=1}^{K_0} I_k}, \quad (1.6)$$

где I_k – средняя мощность помех, генерируемых k -й сотой.

Мощность сигнала, принимаемого на расстоянии d передающей антенны, пропорциональна $d^{-\gamma}$.

При распространении в свободном пространстве $\gamma = 2$, в то время как при двулучевом распространении $\gamma \approx 4$. В действительности γ лежит в интервале от 2 до 5,5 в зависимости от условий распространения.

При равной мощности, излучаемой БС, отношение сигнал/внутриканальная помеха зависит только от геометрических свойств распределения сот, расстояний между базовыми станциями, использующими одни и те же частотные каналы, и радиуса зоны радиопокрытия БС.

В традиционных сотовых системах отношение S/I выбирается таким, чтобы обеспечить качество передачи речи, приемлемое, по крайней мере, для 75% пользователей на 90% области покрытия системы.

Существуют два основных решения проблемы недостаточной величины коэффициента Q для классического кластера из семи сот и всенаправленных антенн.

Первый путь – это увеличение количества сот в кластере. Однако с увеличением N уменьшается количество доступных в соте каналов. Если взять следующее после 7 возможное значение N , т. е. $N = 12$, то придется разделить все доступные каналы на 12 подгрупп.



Второе решение заключается в ослаблении внутриканальных помех при использовании секторных антенн, с шириной диаграммы направленности в 120° . Каждая сота разделяется на три сектора. Также возможно разделение сот и на другое количество секторов. На практике разделение сот на секторы используется в сотовых системах стандартов GSM и CDMA.

Разделение на секторы не только уменьшает количество интерферирующих БС, но и оказывает положительное воздействие на физические свойства канала связи. В таких системах разброс задержки импульсного отклика канала будет меньше, чем в сотовых системах с всенаправленными антеннами БС. Благодаря разделению на секторы увеличивается емкость системы, однако это увеличение не удастся полностью использовать, если мобильные станции не будут равномерно распределены по всем секторам. Существуют и другие недостатки разделения на секторы:

- БС секторизованной соты требует большего количества оборудования, особенно высокочастотного;

- мобильные станции, передвигающиеся в разделенных на секторы сотах, чаще меняют каналы, что приводит к увеличению объема сигналов управления;

- снижается *транковая эффективность*. В выделенной соте набор каналов должен быть распределен по секторам. Количество обслуживаемых абонентов останется тем же, что и в сотах без выделения секторов, только в том случае, если количество пользователей в каждом секторе пропорционально количеству выделенных на сектор каналов.

Рассмотрим правила распределения каналов среди сот и секторов. Непосредственное влияние на выбор оказывают *межканальные помехи*. Этот тип помех возникает между сигналами, излучаемыми в одной и той же соте (секторе) на разных несущих частотах. Необходимо минимизировать искажения. Разнос канальных частот $\Delta f_{\text{зеп}}$ в одной соте определяется формулой

$$\Delta f = 2^G \frac{B}{2}, \quad G = \frac{\gamma \lg \left(\frac{d_0}{d_1} \right)}{L}, \quad (1.7)$$

где γ зависит от среды распространения; L – крутизна приемного фильтра, дБ на октаву; d_0 и d_1 – расстояния от базовой до мобильных станций (передающей и источника искажений соответственно). На практике для GSM соседние каналы в одной соте разделены полосой в $3B$ Гц.

Вид модуляции, способы кодирования и формирования сигналов в каналах связи, принятые в GSM, обеспечивают прием сигналов с отношением сигнал/помеха $S/I = 9$ дБ, в то время как в аналоговых системах тот же показатель равен 17–18 дБ. Поэтому передатчики базовых станций, работающие на совпадающих частотах, могут размещаться в более близко расположенных сотах без потери высокого качества приема сообщений.

Например, в сети GSM с общей полосой 7,2 МГц (36 частот), модель повторного использования частот двумя БС позволяет на одной БС одновременно применять 18 частот (в модели с тремя БС таких частот 12). Емкость сети возрастает на 50%, однако для обеспечения прежнего значения вероятности блокировки канала связи необходимо снижение этого показателя до 40%.

В любой ССМС емкость сетей зависит от количества каналов связи в соте N , которое, например, для стандартов с временным разделением каналов определяется выражением:

$$N = \frac{1}{k} \cdot \frac{F}{f}, \quad (1.8)$$

где F – полоса частот ССМС; $f = F_k/n$ – эквивалентная полоса частот, приходящаяся на один речевой канал; F_k – полоса частот одного радиоканала; n – число временных позиций в TDMA кадре; F/f – число речевых каналов связи; k – коэффициент повторного использования частот.

В табл. 1.1 приведены значения количества каналов N на соту для ССМС различных стандартов при разных коэффициентах повторного использования частот.

Таблица 1.1

Сравнение различных стандартов ССПС

Характеристики ССПС	Аналоговые	Цифровые			
		GSM		ADC	JDC
	NMT-450	полноскоростной канал	полускоростной канал		
Общая полоса частот F , МГц	4,5	25	25	25	25
Эквивалентная полоса частот на один канал связи f , кГц	25	25	12,5	10	8,3
Число речевых каналов связи F/f	180	1000	2000	2500	3000
Коэффициент повторного использования частот k	7 (3)	3 (2)	3 (2)	7	4
Число каналов на соту N	26 (60)	333 (500)	666 (1000)	357	750

В стандарт GSM-900 полоса частот, отведенная на один частотный канал, составляет 200 кГц. Согласно плану частот стандарта GSM-900 (рис. 1.4), в этом стандарте 124 частотных канала.

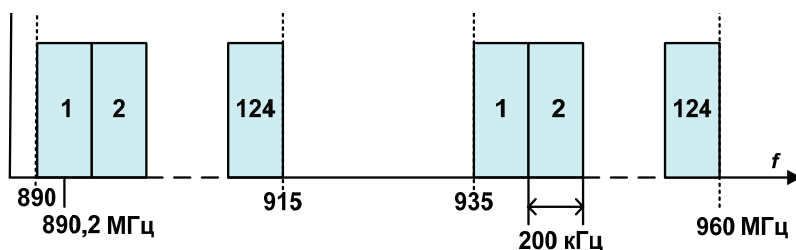


Рис. 1.4. Частотный план стандарта GSM-900

Полоса частот, занимаемая стандартом для приема (или передачи), составляет 25 МГц. Сдвиг между частотами приема и передачи в каждом канале 45 МГц. В канале с номером Z средняя частота базовой станции, выраженная в мегагерцах, составляет

$$f_{1z} = 890,2 + 0,2Z;$$

средняя частота передачи, выраженная в мегагерцах, определяется так:

$$f_{2z} = 935,2 + 0,2Z.$$

Порядок выполнения работы

1. Запустить программу RPS-2, нажав левой кнопкой мыши на значок .
2. Выбрать на панели инструментов «Проект → Новый» и ввести имя, выбрать радио-стандарт – GSM.
3. Выбрать местоположения базовых станций (БС): нажав левую клавишу мыши, выбрать «Новое место».
4. Задать параметры БС: имя – BS#1 (BS#2, BS#3), число секторов – 1, антенна – OMNI, поляризация – горизонтальная, приемопередатчик – табл. 1.2, высота передающей антенны – $h = (30 + N)$ м (N – номер варианта), фидеры – default.

Таблица 1.2

Приемопередатчики

Вариант	1	2	3	4	5
Приемопередатчик	Aironet 655 900	BS	CyLink	TRxCV	WaveLAN 915
Вариант	6	7	8	9	10
Приемопередатчик	Mobile	CyLink	TRxCV	WaveLAN 915	Aironet 655 900

Координаты БС:

BS#1: долгота E 82-50-10.94, широта N 55-3-55.36;

BS#2: долгота E 82-47-55.15, широта N 54-55-52.34;

BS#3: долгота E 83-3-9.96, широта N 54-59-20.30.

5. Задать параметры абонентов: антенна – OMNI, поляризация – горизонтальная. Координаты абонентов приведены в табл. 1.3

Таблица 1.3

Координаты абонентов

Абонент	Наименование координат	Вариант				
		1	2	3	4	5
1	E	83-28-39.42	83-35-7.74	83-29-34.21	83-33-46.74	83-30-26.62
	N	55-10-58.01	55-3-39.26	55-10-35.20	55-6-6.85	55-9-46.89
2	E	83-23-39.25	83-24-38.80	83-36-0.15	83-35-36.33	83-35-7.74
	N	54-44-40.13	54-45-0.25	54-58-6.51	54-56-27.22	54-54-53.30
Абонент	Наименование координат	Вариант				
		6	7	8	9	10
1	E	83-34-43.92	83-31-4.74	83-34-20.09	83-31-38.09	83-32-49.56
	N	55-4-27.56	55-9-12.01	55-5-13.18	55-8-39.81	55-7-30.04
2	E	83-35-50.62	83-35-26.80	83-33-51.50	83-27-35.10	83-32-11.45
	N	54-57-26.26	54-55-41.60	54-52-33.76	54-46-44.91	54-50-27.63

Сохранить проект в папке «Project» программы RPS-2 под своим именем. Пример: Project_Lab1_Ivanov.

6. Анализ рельефа местности и оценка потерь при распространении до наиболее удаленной точки соты, максимального размера для стандарта.

Выполнить → *Расчет прямой видимости* (BS#3, расстояние 35 км, вне прямой видимости, ОК).

6.1. Анализ профиля радиолинии.

Выполнить → *Просмотр* → *Выбор линии*. Провести линию от БС#3 до точки Абонент#1 и нажать левую клавишу мыши. Результаты расчета потерь при распространении от БС#3 к абоненту занести в отчет. Рассчитать потери радиотрассы, для чего нажать левой кнопкой на значок  и проанализировать вклад различных факторов в потери распространения сигнала.левой кнопкой мыши нажать на значок  окна «Трасса». Занести в отчет результаты расчета потерь при распространении от абонента к БС#3.

После нажатия кнопок ,  и  в окне с профилем радиолинии дополнительно рисуются, соответственно, первая зона Френеля, линии уровня и точки отражения сигнала (если они есть).

6.2. Анализ уровня сигнала на трассе.

Выполнить → *Просмотр* → *Выбор трассы*. Удерживая левую кнопку мыши, провести линию от БС#3 до точки Абонент#1 и нажать правую клавишу мыши. В появившемся окне «Редактирование трассы» присвоить название трассы и добавить доступные на трассе станции в поле «Выбранные станции». Установить курсор  на линию трассы и нажать правую кнопку мыши и далее левой кнопкой открыть окно «Трасса». В открывшемся окне нажать левой кнопкой на значок , что запускает процесс расчета уровня сигнала вдоль трассы. Нажать одну из кнопок  или  для просмотра результатов расчета, соответственно в виде графика или с помощью цвета. Полученные результаты расчета занести в отчет.

6.3. Выполнить пп. 6.1, 6.2 для Абонент#2.

7. Определение зоны наличия (отсутствия) связи для трех заданных БС.

Выделить три БС с помощью прямоугольника.

Просмотр → *Выбор прямоугольника*. Выделить область так, чтобы в нее попали три БС. Поместить курсор в выделенную область, нажать на левую клавишу мыши и присвоить имя области. Далее провести расчеты покрытия для каждой из трех БС.

Выполнить → *Расчет покрытия* → *Модель Hata* (или другая по заданию преподавателя) → BS#1 (BS#2, BS#3).

Добавить выбранные станции для расчета.

Поместить курсор в выбранную область и, нажав правую кнопку мыши, выполнить расчет для определения зоны наличия (отсутствия) связи.

Области разного цвета указывают на наличие связи в прямом, обратном направлениях, в обоих направлениях или отсутствие связи.

Обозначения цветов на карте (указано в левом нижнем углу проекта):

NS (No service) – отсутствие связи;

FO (Forward only) – связь в одном направлении от базовой станции к абоненту;

RO (Reverse only) – связь в одном направлении от абонента к базовой станции;

FR (Forward and Reverse) – связь в двух направлениях.

Оценить радиус зон наличия связи с использованием инструмента «выбор линии».

8. Расчет числа каналов БС.

Навести указатель мыши на участок между тремя БС и, нажав правую клавишу, выбрать «Расчет числа каналов БС». Параметры для расчета устанавливаются по варианту задания на лабораторную работу.

Задание на лабораторную работу

1. Определить уровень сигнала (Трасса: Сектор#1, Принимающий сигнал, дБм) в двух различных местах (Абонент#1, Абонент#2), находящихся на расстоянии 35 км от BS#3, и сравнить его с чувствительностью приемника абонента (–100 дБм), дать рекомендации относительно выбора (замены) приемопередатчиков БС.

2. Выполнить расчет по п. 6.1 при наличии препятствия в виде горы (mountain) высотой 450 м, длиной и шириной 1000 м. Проанализировать рельеф местности (Трасса: Сектор#1, Принимающий сигнал, дБм). Для создания препятствия нажать левую клавишу мыши и выбрать «Новое препятствие».

3. Произвести вспомогательные расчеты потерь при распространении на расстоянии 35 км для различных типов местности (село, пригород, город, крупный город).

Утилиты → Вспомогательные расчеты → COST 231 Hata. Задаваемые параметры: высота антенны – $h = (30 + N)$ м (N – номер варианта), расстояние 35 км. Остальные параметры – по умолчанию.

4. Определить зоны наличия (отсутствия) связи для трех заданных БС.

5. Произвести расчет числа каналов БС, если:

– удельная нагрузка от одного абонента, Эрл – $A = 0,0N + 0,0P$;

– вероятность установления соединения – $P = 0,9N$;

– соединение: БС с максимальным сигналом – для четных N и равновероятное – для нечетных N ;

– закон распределения абонентов: равномерный – для четных N и нормальный – для нечетных N .

Формула для расчета числа каналов: Эрланга В.

Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы и задание на лабораторную работу.

3. Результаты расчетов, полученные в пп. 1–5 задания на лабораторную работу.

4. Цифровая карта местности с размещенными на ней БС, препятствиями и абонентами.

5. Выводы по полученным данным расчетов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение частотно-территориальному плану.

2. Что называется кластером?



3. Как влияет коэффициент повторного использования частот на емкость сети?
4. В чем отличие микросотовых сетей подвижной связи от макросотовых сетей?
5. Поясните процедуру «ведение абонента», «роуминг».
6. Поясните назначение центра коммутации.
7. Каково назначение интерфейсов в сетях сотовой связи?
8. Какая модель использовалась при расчете потерь мощности сигнала на трассе распространения?
9. Какова особенность антенн типа OMNI?
10. Каково максимальное расстояние, при котором еще имеет место уверенный прием сигнала в стандарте GSM-900?
11. Какие типы препятствий на трассе вызывают наибольшие потери мощности сигнала?
12. Какие параметры входят в модель Окамуры?

1.6. Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ

Цель работы: размещение базовых станций на цифровой карте местности; расчет прямой видимости; вычисление уровня сигнала передатчика; нахождение потерь в атмосфере и на деревьях.

Краткие теоретические сведения

Модель свободного пространства

Модель свободного пространства является эталонной при анализе распространения радиоволн на различных трассах. В рамках этой модели энергия сигнала зависит только от расстояния между передатчиком и приемником и убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Суммарные потери L_p (снижение мощности сигнала) в свободном пространстве определяются формулой

$$L_p = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2, \quad (1.9)$$

где λ – длина волны сигнала; d – расстояние между передатчиком и приемником, км.

Обычно величину потерь измеряют в децибелах. В свободном пространстве для идеальных антенн L_p , дБ:

$$L_p = 32,4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(d), \quad (1.10)$$

где f – частота сигнала, МГц.

Заметим, что при заданной несущей частоте сигнала f первое и второе слагаемые – константы, и L_p изменяется как логарифм расстояния. Модель свободного пространства основана на концепции расширяющегося сферического фронта волны при излучении сигнала от точечного источника в пространстве. Эта модель используется, в основном, в спутниковых системах связи дальнего космоса, где сигналы распространяются сквозь «свободное пространство». В системе мобильной связи появляются дополнительные потери из-за препятствий и другие помехи, поэтому необходимы более сложные модели, чтобы предсказать потери при распространении.

Модель Ли

Распространение радиоволн в наземной связи сопровождается большими потерями, чем в свободном пространстве, поскольку имеются препятствия между передатчиком и приемником. В результате принятый сигнал складывается из сигналов, перемещающихся через прямые и не прямые пути. Это сигналы, перемещающиеся по линии прямой видимости, и сигналы, перемещающиеся по ломаной линии, которая формируется на основании рассеяния и отражения от объектов, находящихся между передатчиком и приемником (строения, деревья, холмы и др.). Именно поэтому потери на трассе в приземной области выше, чем в свободном пространстве, и степень потерь находится в более сильной зависимости от расстояния между передатчиком и приемником. Для иллюстрации приведем упрощенную формулу в модели Ли для частот, используемых в сотовой связи:

$$L_p = 1,14 \cdot 10^{13} \cdot \frac{d^{3,84}}{h^2}, \quad (1.11)$$

где h – высота антенны базовой станции, м.

Для расчета в децибелах формула имеет следующий вид:

$$L_p = 129,45 + 38,4 \lg(d) - 20 \lg(h). \quad (1.12)$$

Уточненная модель распространения радиоволн должна быть функцией различных параметров, необходимых для описания условий распространения. Рассмотренные ниже модели Walfish – Ikegami

и Okumura – Nata используют более сложные методы расчета потерь распространения, которые зависят от таких параметров, как частота, высоты антенн передатчика и приемника и плотность застройки, модели основаны на обширных эмпирических измерениях в городских условиях.

Модель Уолфиша – Икегами

Модель Уолфиша – Икегами (Walfish – Ikegami) применяется для расчета уровня принятого сигнала в крупных и средних городах (рис. 1.5). Производится расчет уровня принятого сигнала на основе рекомендации COST 231. Реальный рельеф местности не учитывается, вместо этого в параметрах модели указывается тип городской застройки.

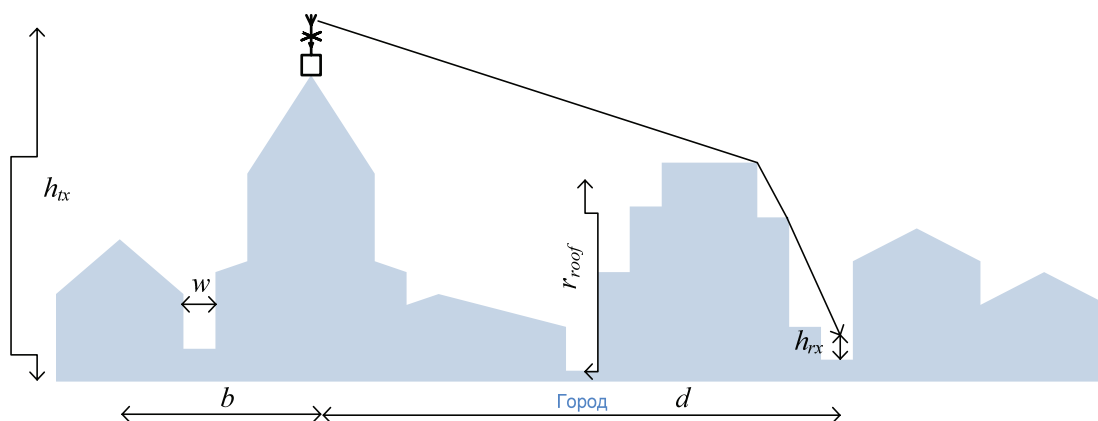


Рис. 1.5. Условная схема прохождения радиосигнала в районе с плотной застройкой

Модель испытана в диапазоне частот 900–1800 МГц на расстояниях от 100 м до 3 км. Обеспечивает хорошую точность предсказания при высоте антенны выше уровня крыш. Ошибки предсказания увеличиваются при высоте антенны близкой к уровню крыш. Модель не применима для открытых участков, где есть прямая видимость.

Ограничения модели:

- диапазон частот 800–2000 МГц;
- высота антенны базовой станции 4–50 м;
- высота антенны абонента 1–3 м;
- дальность 0,02–5 км.

В качестве исходных данных моделирования выступают:

- 1) h_{tx} – высота антенны базовой станции (м);
- 2) w – средняя ширина улиц (м);
- 3) b – среднее расстояние между домами (м);
- 4) h_{roof} – средняя высота зданий (м);



- 5) h_{rx} – высота антенны абонента (м);
- 6) φ – угол с улицей (град);
- 7) d – расстояние от абонента до базовой станции (км);
- 8) f – рабочая частота (МГц);
- 9) тип застройки: средняя или плотная.

В модели Walfish – Ikegami суммарная потеря сигнала складывается из трех слагаемых:

- 1) l_0 – потери в свободном пространстве;
- 2) l_{rts} – потери, вызванные дифракцией на крышах;
- 3) l_{msd} – потери при многократном отражении.

$$L_p = \begin{cases} l_0 + l_{rts} + l_{msd} & \text{при } l_{rts} + l_{msd} > 0, \\ l_0 & \text{при } l_{rts} + l_{msd} \leq 0. \end{cases} \quad (1.13)$$

Потери в свободном пространстве:

$$l_0 = 32,44 + 20 \lg(f) + 20 \lg(d). \quad (1.14)$$

Потери, вызванные дифракцией на крышах:

$$l_{rts} = -6,9 - 10 \lg(w) + 10 \lg(f) + 20 \lg(h_{roof} - h_{rx}) + l_{ori}, \quad (1.15)$$

где параметр l_{ori} учитывает величину угла относительно улицы.

Потери, вызванные многократным отражением:

$$l_{msd} = l_{bsh} + k_a + k_d \lg(d) + k_f \lg(f) - 9 \lg(b), \quad (1.16)$$

где параметры l_{bsh} , k_a и k_d зависят от высот антенн базовой и абонентской станций и высоты зданий; коэффициент k_f учитывает тип застройки.

Модель Окумура – Хата

Модель Окумура – Хата (Okumura – Hata) была разработана на основе данных измерений уровней сигнала от передатчика в нескольких частотных диапазонах в Токио и его пригородах. Выбор этого метода наиболее предпочтителен для урбанизированных областей, где расстояние анализа относительно невелико (меньше чем 30 км), эффективная высота передающей антенны – меньше чем 200 м, эффективная высота приемной антенны – меньше чем 10 м, и местность относительно плоская (рис. 1.6). Использование этого метода для других случаев или при больших расстояниях может оказаться неприемлемым. Применяя эту модель, можно выбирать типы наземных помех: «нет», «пригородная зона» или «город». Этот выбор определит соответствующие выражение для затухания, а реальный рельеф местности не учитывается. Модель применяется только при высоте антенны базовой станции выше уровня крыши.

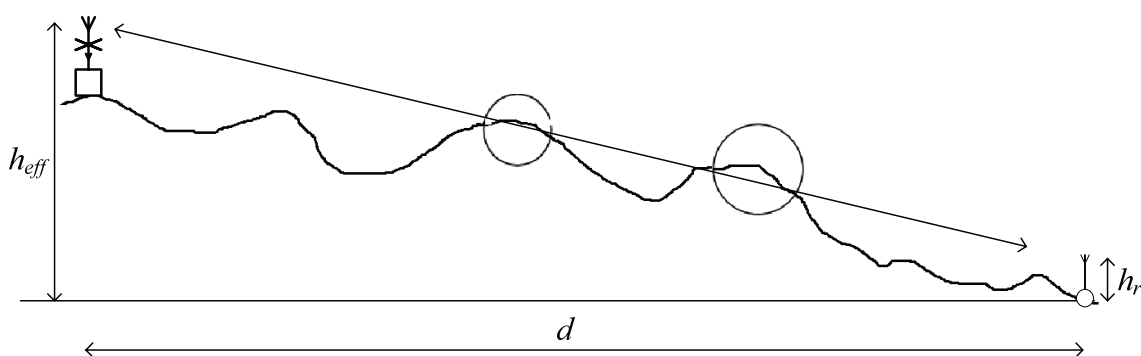


Рис. 1.6. Условная схема прохождения радиосигнала в районе с холмистой местностью

Ограничения модели:

- диапазон частот 150–2000 МГц;
- высота антенны базовой станции 30–200 м;
- высота антенны абонента 1–10 м;
- дальность 1–20 км.

В качестве исходных данных моделирования выступают:

- h_{eff} – высота антенны базовой станции (м);
- h_r – высота антенны абонента (м);
- d – расстояние от абонента до базовой станции (км);
- f – рабочая частота (МГц);
- тип застройки.

Основные потери на трассе для городских зон находятся по формуле

$$a = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_{eff}) - c(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_{eff})) \lg(d), \quad (1.17)$$

где $c(h_r)$ – поправочный коэффициент, учитывающий тип застройки.

Для пригородных областей городские потери корректируются следующим образом:

$$a_{\text{ruual}} = a - 2 \left(\lg\left(\frac{f}{28}\right) \right)^2 - 5,4. \quad (1.18)$$

Для сельских открытых участков

$$a_{\text{open}} = a - 4,78 (\lg(f))^2 + 18,33 \lg(f) - 40,94. \quad (1.19)$$

Модель RPS

Производится расчет уровня принятого сигнала на основе детального анализа профиля земной поверхности между передатчиком и точкой приема. Расчет уровня принятого сигнала в каждой точке эквивалентен расчету для радиолинии, соединяющей базовую станцию с данной точкой. Учитываются потери в свободном пространстве, потери за счет отражения, дифракции на препятствиях, высота и диаграмма направленности антенны передатчика.

Порядок выполнения работы

1. Запустить программу RPS-2, нажав левой кнопкой мыши на значок .

2. Выбрать на панели инструментов *Проект* → *Новый* и ввести имя, выбрать радио-стандарт – GSM.

3. Выбрать местоположения базовых станций (БС): нажав левую клавишу мыши, выбрать «Новое место».

4. Задать параметры БС: имя – BS#1, число секторов – 1, антенна – OMNI, поляризация – горизонтальная, приемопередатчик – BS, высота передающей антенны – $h = 50$ м, поляризация – горизонтальная, фидеры – default. Мощность передатчика – 30 дБм. Координаты БС – из табл. 1.4.

Таблица 1.4

Координаты БС

Наименование координат	Вариант				
	1	2	3	4	5
E	82-56-22.58	82-58-57.43	82-55-30.17	82-58-57.43	82-54-21.08
N	55-5-50.75	55-5-13.18	55-3-40.60	55-3-51.33	55-2-30.83
Наименование координат	Вариант				
	6	7	8	9	10
E	82-57-57.88	82-48-42.79	82-52-19.58	82-55-11.11	83-4-57.17
N	55-1-11.67	55-0-28.73	54-58-53.47	54-57-30.28	54-58-25.29

5. Определение зоны прямой видимости.

Выполнить → *Расчет прямой видимости* → *Расстояние* – 3 км → *ОК*.

Наблюдать изменение зоны прямой видимости при высотах передающей антенны $h = 30, 35, 40, 45$ м.

6. Расчет уровня сигнала передачи по модели Hata.



Установить мощность передатчика 40 дБм.

Нажать кнопку  и в открывшемся окне активировать легенду «Сигнал».

Выполнить → Расчет покрытия → Модель Hata → Антенна – 50 м, Расстояние – 3 км, Тип застройки – городская → ОК. С использованием инструмента «Выбор линии» определить размер зон с различным уровнем сигнала.

Изменять мощность передатчика через 5 дБм (35, 30, 25) и наблюдать изменение размера зон с различным уровнем сигнала. Данные свести в таблицу для графического отображения полученных результатов.

Для данной модели при мощности передатчика 30 дБм наблюдать изменение уровня сигнала, варьируя следующие параметры: высота антенны передатчика – 30, 35, 40, 45 м; тип застройки – плотная городская, пригород, сельская.

7. Расчет уровня сигнала передачи по модели Walfish – Ikegami.

Установить мощность передатчика 30 дБм.

Выполнить → Расчет покрытия → Модель Walfish – Ikegami → Антенна – 50 м, Расстояние – 3 км, Уровень крыши – 15 м, Ширина улиц – 20 м, Расстояние между домами – 40 м, Тип застройки – средняя → ОК.

Для данной модели при мощности передатчика 30 дБм наблюдать изменение размера зон с различным уровнем сигнала, варьируя следующие параметры: высота антенны передатчика – 30, 35, 40, 45 м; уровень крыш – 20, 30 м; тип застройки: плотная, либо средняя. Данные свести в таблицу для графического отображения полученных результатов.

7.1. Провести вспомогательные расчеты.

Утилиты → Вспомогательные расчеты → COST 231 Walfish – Ikegami.

Провести расчет потерь на расстоянии 3 км при высоте крыш 15 и 30 м для двух типов застройки. Данные свести в таблицу для графического отображения полученных результатов.

8. Расчет уровня сигнала передачи по модели RPS-2.

Установить мощность передатчика 30 дБм.

Выполнить → Расчет покрытия → Модель RPS-2 → Антенна – 50 м, Расстояние – 3 км → ОК.

Для данной модели при мощности передатчика 30 дБм наблюдать изменение уровня сигнала, учитывая или нет следующие факторы:

дифракция, отражение, атмосферные влияния, потери на местности. Наблюдать изменение размера зон с различным уровнем сигнала. Данные свести в таблицу для графического отображения полученных результатов.

9. Вспомогательные расчеты.

Утилиты → Вспомогательные расчеты → Потери в атмосфере:

1) на соответствующих частотах при заданном расстоянии (табл. 1.5) и влажности 10 г/м^3 ;

Таблица 1.5

Диапазоны частот

Номер варианта	Расстояние, км	Частоты, МГц				
1	5	450	900	1900	2400	5200
2	10					
3	20					
4	35					

2) потери в атмосфере для соответствующих расстояний при заданной частоте (табл. 1.6) и влажности 10 г/м^3 ;

Таблица 1.6

Диапазон расстояний

Номер варианта	Частота, МГц	Расстояния, км				
1	450	5	10	20	35	50
2	900					
3	1900					
4	5200					

3) потери на деревьях для различных высот деревьев на соответствующих частотах (табл. 1.7);

Таблица 1.7

Высота деревьев

Номер варианта	Частота, МГц	Высота деревьев, м				
1	450	2	5	10	20	30
2	900					
3	1900					
4	5200					



4) потери в атмосфере на соответствующих частотах при заданной высоте деревьев (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Диапазоны частот

Номер варианта	Высота деревьев, м	Частоты, МГц				
1	2	450	900	1900	2400	5200
2	5					
3	10					
4	20					

По каждому из четырех пунктов вспомогательных расчетов полученные данные свести в таблицу для графического отображения результатов.

Задание на лабораторную работу

1. Провести расчеты по п. 5–9.
2. Провести графическую обработку полученных результатов с использованием Microsoft Office Excel.
3. Провести сравнительный анализ использованных в работе моделей по результатам расчетов.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы и задание на лабораторную работу.
3. Привести основные характеристики оборудования беспроводных сетей; факторы, приводящие к потерям в радиолинии; описание моделей распространения радиосигналов (RPS, Okamura – Hata (COST 231), Walfish – Ikegami).
4. Результаты расчетов.
5. Цифровая карта местности с размещенными на ней БС.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы приводят к потерям при распространении радиоволн?
2. Поясните основные физические эффекты и изучаемые явления при распространении радиоволн: дифракция, отражение, преломление, рассеяние, замирание.



3. Для каких систем связи (наземных или спутниковых) поглощение мощности сигнала в атмосфере является наиболее существенным фактором?

4. Какие характеристики деревьев наиболее существенно влияют на затухание сигнала?

5. Дайте определение электромагнитной совместимости.

6. Дайте определение понятия «кластер сот». В чем преимущества и недостатки кластеризации сот?

7. С какой целью выполняется секторизация соты?

8. На каких частотах работают радиорелейные линии связи, и какие факторы в наибольшей степени влияют на устойчивость их функционирования?

9. Какой фактор является наиболее неблагоприятным фактором, вызывающим потери мощности сигнала в атмосфере на частотах свыше 1 ГГц?

10. Дайте классификацию основных типов помех в системах подвижной связи.

11. Какого типа помехи наиболее существенно ухудшают связь в диапазоне 800–900 МГц, и что является их источником?

1.7. Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАДИОСЕТЕЙ

Цель работы: выполнение расчетов, необходимых для оценки качества связи и зон обслуживания радиосети стандарта GSM и радиорелейной линии связи на основе реальных данных о рельефе местности с использованием RPS-2.

Краткие теоретические сведения

Основные этапы частотно-территориального планирования (ЧТП) сетей подвижной радиосвязи включают в себя следующие операции.

1. *Разработка требований к исходным данным.* В техническом задании на выполнение ЧТП должно быть указано:

– тип абонентов, работающих внутри и вне помещений (процентное соотношение);



- плотность абонентов на единицу площади или плотность трафика на единицу площади;
- потребность абонентов в скорости трафика (процентное соотношение);
- тип передаваемого трафика;
- тактико-технические параметры на оборудование базовых и абонентских станций;
- объем выделенного для развертывания сети радиочастотного ресурса;
- ограничения на высоты подвеса антенн (антенных мачт).

2. *Расчет бюджета канала связи.* На первом этапе частотно-территориального планирования сети беспроводного широкополосного доступа производится расчет бюджета канала связи для данного оборудования с целью определения максимально допустимых потерь в канале связи и первоначальной оценки радиуса зоны обслуживания. Расчет бюджета потерь проводится для двух направлений: линии вниз (downlink) и вверх (uplink), а в качестве результирующего значения выбирается минимальное из рассчитанных значений.

3. *Выбор структуры кластера сети.* В зависимости от объема радиочастотного ресурса, выделенного оператору сети беспроводного широкополосного доступа, возможны различные варианты построения топологии радиочастотного кластера.

4. *Расчет зоны покрытия по уровню принимаемого сигнала.* После того как требования к функционированию сети сформулированы, выбраны кластерная структура и первоначальный частотный план, происходит проверка возможности размещения сайтов на выбранных местах.

Далее с использованием специализированного программного обеспечения рассчитываются зоны радиопокрытия для направления передачи вниз (downlink) и вверх (uplink) отдельно.

В качестве инструмента прогнозирования потерь распространения радиоволн можно использовать различные статистические и квазидетерминистские математические модели распространения радиоволн. Наибольшее приближение результатов прогнозирования и измерений в застройке города Минска наблюдается при использовании дифракционных моделей P.526, SPM и WLL.

5. *Расчет внутрисистемных интерференций.* После расчета зоны покрытия по уровням принимаемого сигнала проводят анализ внутрисистемной электромагнитной совместимости (ЭМС) для принятой структуры сети.



Провести анализ внутрисистемной электромагнитной совместимости сети можно двумя способами:

- рассчитать с использованием модели МСЭ-R Р.452 зоны помех от базовых станций базовым станциям, на которых назначены те же рабочие частоты; провести те же вычисления, только за источник помех принять абонентские станции, а за рецептор помех – базовые станции;
- рассчитать с использованием специализированного программного обеспечения зоны покрытия по уровням $C/(I+N)$ – «сигнал/помеха» для направлений передачи downlink и uplink.

6. Планирование зон хэндовера. Работа мобильной широкополосной сети при перемещении абонентов из зоны покрытия одной базовой станции в другую обязательно предусматривает выполнение процедуры хэндовера.

Для четкой отработки процедуры хэндовера необходимо выполнить планирование зон хэндовера между зонами покрытия соседних секторов (сайтов). Планирование в данном случае заключается в уменьшении излишнего перекрытия соседних зон покрытия при сохранении формы зоны радиопокрытия отдельных секторов.

7. Расчет качественных показателей покрытия сетей подвижной радиосвязи. На заключительном этапе планирования сети подвижной радиосвязи производится расчет ее качественных параметров функционирования и представляется в виде карты покрытия, наложенной на зону обслуживания по выбранному критерию.

К основным показателям качества работы мобильной беспроводной сети относятся: скорость передачи данных и коэффициент битовой ошибки (каждый из параметров рассчитывается отдельно для направлений downlink и uplink).

Стандарт GSM тесно связан со всеми современными стандартами цифровых сетей, в первую очередь с ISDN и IN. Основные функциональные элементы GSM входят в международный стандарт глобальной системы подвижной связи UMTS.

Система GSM является цифровой системой передачи данных, речь кодируется и передается в виде цифрового потока.

Основные характеристики радиointерфейса GSM-900:

- полосы частот: 890–915 МГц – линия вверх (MS передача), 935–960 МГц – линия вниз (MS прием);
- полоса радиоканала: 200 кГц;
- каналы/несущая: 8;
- множественный доступ: TDMA/FDMA;
- дуплекс: FDD;



- скорость передачи в радиоканале: 270,833 кбит/с;
- модуляция: GMSK;
- спектральная эффективность: 1,35 бит/с/Гц.

Радиопараметры GSM-900. Мобильная станция (MS):

- чувствительность: –104 (–102) дБм. Типичная чувствительность: –106 дБм;
- максимальная выходная мощность: 33 (30) дБм.

Базовая станция (BS):

- чувствительность: –104 (–104) дБм. Типичная чувствительность: –107 дБм.
- максимальная выходная мощность: 43 дБм.

Каналы в GSM-900 представлены на рис. 1.7.

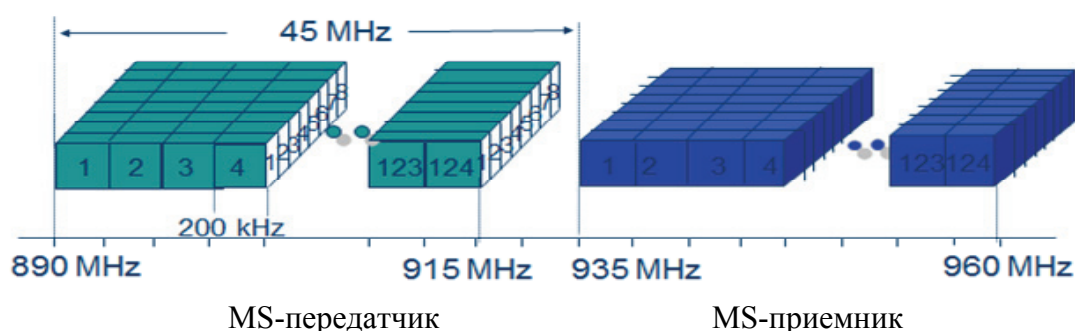


Рис. 1.7. Каналы GSM-900

Расчет основных параметров сотовой системы связи

Общее число частотных каналов, выделенных для развертывания сотовой сети связи в данном месте, определяется по формуле

$$N_k = \text{int} \left(\frac{\Delta F}{F_k} \right), \quad (1.20)$$

где $\text{int}(X)$ – целая часть числа X ; ΔF – полоса частот, выделенная оператору связи; $F_k = 200$ кГц – полоса частот, занятая одним частотным каналом системы сотовой связи – частотный разнос между каналами.

Выбор типа кластера. Главным критерием при выборе кластера является выполнение требований по допустимому отношению сигнал/помеха (S/N_I) в точке приема, прежде всего в основном канале. Здесь рассматриваются лишь внутрисистемные помехи. Величина (S/N_I) (защитное или пороговое отношение сигнал/помеха), как правило, известна и, например, для цифровых сотовых систем стандарта GSM равна 9 дБ.

Для выбора кластера необходимо также задать требования к вероятности события $P(C)$, когда отношение сигнал/помеха в точке приема окажется ниже порогового. Эта величина оценивает устойчивость связи при перемещении подвижного абонента в зоне обслуживания сети. Обычно эту вероятность задают на уровне 0,1–0,15.

Внутрисистемные помехи в сотовой архитектуре сети подвижной связи создают, прежде всего, БС соседних кластеров, которые работают на повторяющихся частотах. В кластерах с несекторизованными сотами таких близкорасположенных базовых станций, создающих помехи по основному каналу, будет шесть. В кластерах с трех- и шести-секторными сотами – две и одна помеха соответственно. Уровень помех зависит от размерности кластера C , радиуса сот R_0 и расстояния между сотами с повторяющимися частотами D и связан с защитным соотношением $q = D / R_0 \approx \sqrt{3C}$. Полагая, что в большинстве случаев затухание сигнала (помехи) в системах подвижной связи обратно пропорционально d^4 , где d – расстояние от источника сигнала (помехи), можно оценить относительный уровень помех β по основному каналу приема для абонентских станций, находящихся на границах сот, который составляет для сот с ненаправленной антенной ($M = 1$)

$$\beta_1 = \beta_2 = (q - 1)^{-4}, \beta_3 = \beta_4 = q^{-4}, \beta_5 = \beta_6 = (q + 1)^{-4},$$

а для сот с направленными антеннами:

- при $M = 3 \beta_1 = (q + 0,7)^{-4}, \beta_2 = q^{-4}$;
- при $M = 6 \beta_1 = (q + 1)^{-4}$.

В универсальной модели однородной сети регулярной структуры зона обслуживания каждого передатчика находится в окружении 18 соканальных помех (рис. 1.8), расположенных в углах трех правильных шестиугольников с координационными расстояниями $D_{k1}, \sqrt{3}D_{k1}, 2D_{k1}$ соответственно.

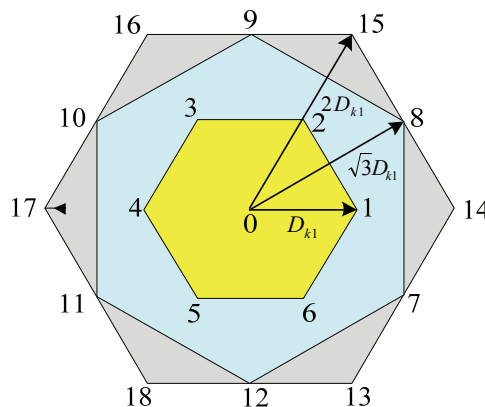


Рис. 1.8. Расположение помех совмещенного канала

В сотовых сетях связи для определения мощностей сигнала и помех на входе приемника абонентского терминала для предсказания потерь при распространении сигнала используется модель Окамура – Хата. В соответствии с этой моделью мощность сигнала на входе приемника $P_{\text{пр}}$ абонентской станции, находящейся на расстоянии R от передатчика, равна

$$P_{\text{пр}}(R) = P_{\text{изл}}(\Theta) \cdot L(R), \quad (1.21)$$

где $P_{\text{изл}}(\Theta)$ – излучаемая мощность передатчика в зависимости от направления на абонентскую станцию; при этом предполагается, что антенна абонентской станции имеет круговую диаграмму направленности; $L(R)$ – потери (величина, обратная затуханию) сигнала при распространении в городских районах, зависит от высоты передающей и принимающей антенн, расстояния между ними, несущей частоты, эмпирического коэффициента.

Мощность сигнала на входе приемника обратно пропорциональна расстоянию до передатчика:

$$P_{\text{пр}}(R) = \frac{P_{\text{изл}}(\theta)}{B \cdot R^x}, \quad (1.22)$$

где B – коэффициент, рассчитанный эмпирически и зависящий от высоты передающей и принимающей антенн, несущей частоты; x – показатель степени при R :

$$x = 4,49 - 0,655 \lg(h_{\text{БС}}).$$

Мощность интерференционных помех, создаваемых шестью мешающими передатчиками первого шестиугольника, равна

$$P_{\text{п1}} = 6 \cdot \frac{P_{\text{изл}}(\theta)}{B \cdot (R_3)^x} \cdot \frac{1}{(\sqrt{27})^x} \quad (1.23)$$

По аналогии с (1.30) получают формулу мощности интерференционных помех, создаваемых шестью мешающими передатчиками второго шестиугольника:

$$P_{\text{п2}} = 6 \cdot \frac{P_{\text{изл}}(\theta)}{B \cdot (R_3)^x} \cdot \frac{1}{9^x} \quad (1.24)$$

и третьего шестиугольника:

$$P_{\text{п3}} = 6 \cdot \frac{P_{\text{изл}}(\theta)}{B \cdot (R_3)^x} \cdot \frac{1}{(\sqrt{108})^x}. \quad (1.25)$$

При работе в сотовой сети появляются интерференционные помехи от передатчиков БС, работающих на совпадающих частотах (в совмещенных каналах), и в результате на входе приемника необходимо рассматривать отношение сигнал/(шум + интерференционная помеха):

$$h_{\Sigma} = \frac{P_c}{P_{\text{ш}} + P_{\text{пом}\Sigma}}. \quad (1.26)$$

Вероятность невыполнения требований по допустимому отношению сигнал/помеха (S/N_f) в точке приема $P(C)$ зависит от размерности кластера. Вероятность $P(C)$ убывает с ростом размерности кластера. При этом одновременно падает частотная эффективность сети. Оцениваются различные варианты кластеров и выбирается оптимальный. Результаты оценки различных вариантов кластеров для стандарта GSM-900 приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Оценка кластеров для сети стандарта GSM-900

Размерность кластера C	Параметры	Секторность M								
		1			3			6		
3	$P(C)$, %	–	–	–	6,2	21,8	29,5	0,4	6,6	14,5
4	$P(C)$, %	39	49,6	–	2,3	14,7	23,6	0,3	4,3	11,5
7	$P(C)$, %	6,4	25,8	35	0,2	6,4	15,2	0,01	1,7	6,8

Определение пространственных параметров сети. Исходными параметрами для расчета пространственных параметров сети являются:

- площадь зоны обслуживания S ;
- число абонентов в зоне обслуживания N_a ;
- число рабочих частот, выделенных оператору;
- число каналов, приходящихся на одну несущую (для стандарта GSM-900 $n = 8$);
- число каналов, используемых для управления и сигнализации;
- допустимая вероятность блокировки вызова в час «пик» (отказа в обслуживании) P_a ;
- активность абонента в час наибольшей нагрузки A (в соответствии с требованиями $A_{\text{ср}} = 0,03\text{--}0,05$ Эрл).

Определение пространственных параметров сети для выбранного типа кластера при фиксированном числе трафиковых каналов N_n , приходящихся на соту (ячейку), связано с допустимой телефонной нагрузкой на ячейку A_c при заданной вероятности отказа

в обслуживании (блокировки вызова P_a), которая рассчитывается по формуле Эрланга:

$$P_a = \frac{A_c^{N_n} / N_n!}{\sum_{i=0}^{N_n} (A_c^i / i!)} \quad (1.27)$$

Величина допустимой телефонной нагрузки в одном секторе одной соты (Эрл) определяется приближенным соотношением

$$A_c = n_0 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(P_a \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right], \quad (1.28)$$

при условии, что вероятность блокирования вызова не превышает величины

$$P_a \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} = \sqrt{\frac{2}{8\pi}} = 0,282, \quad (1.29)$$

где $n_0 = n_s n_a$ (n_s – число частотных каналов в секторе, n_a – число абонентов, которые могут одновременно использовать один частотный радиоканал. В данном случае $n_a = 8$, т. к. используется цифровой стандарт GSM).

Общее число каналов для каждого сектора или зоны обслуживания включает, помимо трафиковых, каналы управления и сигнализации.

После определения величины A_c находятся искомые параметры:

– число абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией в час наибольшей нагрузки:

$$N_{\text{БС}} = M \operatorname{int}\left(\frac{A_c}{A_{\text{ср}}}\right); \quad (1.30)$$

– число базовых станций в сети:

$$K = \operatorname{int}\left(\frac{N_a}{N_{\text{БС}}}\right); \quad (1.31)$$

– радиус соты:

$$R_0 = \sqrt{\frac{1,21S}{\pi K}}. \quad (1.32)$$

Коэффициент 1,21 учитывает отличие формы соты от окружности.

На этом этапе построения начального приближения сети появляется возможность уменьшить число базовых станций в составе сети за счет некоторого снижения ее частотной эффективности; в противном случае может возникнуть вопрос о необходимости расщепления сот для обеспечения заданного уровня обслуживания в районах повышенного трафика. Тогда необходимо выделить зону повышенной плотности трафика и определить размеры сот отдельно для данной зоны.

Число частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов в одном секторе соты, определяется по формуле

$$n_s = \text{int} \left(\frac{N_k}{CM} \right). \quad (1.33)$$

Определение параметров базовых станций. При определении параметров базовых станций сети (мощности передатчиков $P_{\text{БС}}$ (дБВт) и высот антенн $h_{\text{БС}}$) необходимо использовать технические данные радиооборудования сети, в частности, чувствительности приемников мобильных станций $P_{\text{МС}}$ (дБВт), высоты их антенн $h_{\text{МС}}$, коэффициенты усиления антенных устройств базовых станций $G_{\text{БС}}$ и сведения о морфоструктуре местности.

Необходимую мощность на выходе передатчика БС $P_{\text{БС}}$ (дБВт) при распространении радиоволн в открытом пространстве определяют в зависимости от характера местности, пользуясь основным уравнением связи:

$$P_{\text{БС}} = P_{\text{МС}} - G_{\text{БС}} - G_{\text{МС}} + L + \alpha_f, \quad (1.34)$$

где $G_{\text{БС}} = 0$ дБ; $G_{\text{МС}} = 0,5$ дБ – коэффициенты усиления антенны БС и МС; L – затухание на трассе распространения с учетом всех добавок; $P_{\text{МС}} = -110$ дБВт – чувствительность приемника МС; α_f – потери в фидере БС.

Порядок выполнения работы

1. Запустить программу RPS-2, нажав левой кнопкой мыши на значок .

2. Выбрать на панели инструментов: *Проект* → *Новый* и ввести имя, выбрать радио-стандарт – GSM. Установить число частот групп – 3.

3. Выбрать местоположения базовых станций (БС): нажав левую клавишу мыши, выбрать «Новое место».



4. Задать параметры БС: имя – BS#1, BS#2, BS#3, число секторов – 3, антенна – Ant001, поляризация – горизонтальная, приемопередатчик – BS, высота антенны – $h = (30 + N)$ м, фидеры – default. Каждому сектору антенны установить соответствующую частотную группу. Координаты БС приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Координаты БС

БС		Вариант				
		1	2	3	4	5
1	E	82-56-36.88	82-56-55.93	82-57-0.70	82-56-41.64	82-56-17.82
	N	55-3-23.16	55-3-27.18	55-3-15.11	55-3-9.74	55-3-15.11
2	E	82-52-12.44	82-52-31.50	82-52-29.11	82-52-7.67	82-51-46.23
	N	54-59-12.25	54-59-12.25	54-59-2.86	54-58-58.84	54-59-4.20
3	E	82-47-48.00	82-48-7.06	82-48-2.29	82-47-36.09	82-47-26.56
	N	55-1-55.95	55-1-54.60	55-1-42.53	55-1-42.53	55-1-53.26
БС		Вариант				
		6	7	8	9	10
1	E	82-56-8.29	82-56-29.73	82-57-17.38	82-57-22.14	82-57-5.46
	N	55-3-25.84	55-3-36.58	55-3-24.50	55-3-12.42	55-2-59.01
2	E	82-51-46.23	82-51-58.14	82-52-52.94	82-52-45.79	82-52-26.73
	N	54-59-17.62	54-59-28.35	54-59-4.20	54-58-53.47	54-58-49.44
3	E	82-47-24.17	82-47-45.62	82-48-26.12	82-48-18.97	82-47-48.00
	N	55-2-4.00	55-2-9.36	55-1-46.55	55-1-34.48	55-1-33.14

4.1. Расчет зон прямой видимости.

Выполнить → Расчет прямой видимости (BS#1, BS#2, BS#3) → Расстояние – 6 км → ОК.

Провести анализ рельефа местности в зонах не прямой видимости, а также изменения зоны прямой видимости в зависимости от высоты антенны БС.

4.2. Расчет покрытия.

Выполнить → Расчет покрытия → Модель RPS (BS#1, BS#2, BS#3) → Расстояние – 6 км → ОК.

Для проведения дальнейших расчетов для трех заданных БС необходимо выделить три БС с помощью прямоугольника.

Просмотр → Выбор прямоугольника. Выделить область так, чтобы в нее попали три БС. Поместить курсор в выделенную область, нажать на левую клавишу мыши и присвоить имя области. Добавить БС выделенную область для последующих расчетов. Далее провести расчеты покрытия для каждой из трех БС.

4.3. Определение зоны перекрытия сигнала:

- курсор мыши установить на выделенную область;
- нажать правую клавишу мыши;
- выбрать: *Прямой канал* → *Зоны перекрытия сигнала*;
- нажать левую клавишу мыши.

4.4. Определение зон обслуживания:

- курсор мыши установить на выделенную область;
- нажать правую клавишу мыши;
- выбрать: *Прямой канал* → *Зоны обслуживания*;
- нажать левую клавишу мыши.

4.5. Расчет мощности передачи абонента:

- курсор мыши установить на выделенную область;
- нажать правую клавишу мыши;
- выбрать: *Обратный канал* → *Необходимая мощность абонента*;
- нажать левую клавишу мыши.

4.6. Расчет числа частотных каналов, необходимых для построения сети:

- курсор мыши установить на выделенную область;
- нажать правую клавишу мыши;
- выбрать: *Расчет числа каналов БС*. Установить число обслуживаемых системой абонентов – $N \times 1000$, удельная нагрузка от одного абонента – $A = (0,03 + 0,01N)$ Эрл, закон – нормальный для четных N и равномерный – для нечетных N → *ОК*.

4.7. Расчет отношения сигнал/помеха:

- курсор мыши установить на выделенную область;
- нажать правую клавишу мыши;
- выбрать: *Прямой канал* → *Сигнал/Шум + Помеха*;
- нажать левую клавишу мыши.

4.8. Расчет электромагнитной совместимости.

Выполнить → *Расчет ЭМС* → *выбрать для расчета имеющиеся передатчики и приемники* → *ОК*. Провести анализ полученных результатов расчета и дать рекомендации по уменьшению уровня помех мешающих передатчиков.

4.9. Расчет параметров радиолинии.

Для проведения расчетов радиолинии создать новый проект:

- выбрать на панели инструментов: *Проект* → *Новый* → *Ввести имя* → *Сеть по умолчанию* → *Релейная* → *ОК*;
- выбрать местоположения станций 1 и 2: нажать левую клавишу мыши, выбрать «*Новое место*»;



– задать параметры станций: имя – Станция#1, Станция#2. Число секторов – 1, антенна – Ant001, поляризация – горизонтальная, приемопередатчик – BS, высота антенны – $h = (30 + N)$ м, фидеры – default. Координаты станций взять из табл. 1.10 для BS#1, BS#2. Параметры изображения значка выбрать «Directional»;

– выбрать местоположение мешающей станции 3. Задать параметры станций: имя – Станция#3, антенна – OMNI, поляризация – горизонтальная, приемопередатчик – BS, высота антенны – $h = (30 + N)$ м, фидеры – default;

– выполнить соединение станций 1 и 2;

– провести взаимную ориентацию антенн станций: установить курсор на линию соединения станций, нажать правую кнопку, *Выбрать* → *Оптимальная ориентация* → *Обе*. Нажать левую кнопку.

– выполнить расчеты: профиль линии, потери прямой радиотрассы, потери обратной радиотрассы, расчет надежности, дальние помехи, расчет ЭМС.

Задание на лабораторную работу

1. Разместить базовые станции на цифровой карте в соответствии с вариантом задания.

2. Выполнить расчеты согласно п. 4.1–4.7 для трех заданных БС.

3. Выполнить п. 4.6 при количестве секторов антенны, равном 6.

4. Разместить станции на цифровой карте для создания радиорелейной линии и провести расчеты для радиотрассы.

Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы и задание на лабораторную работу.

3. Цифровые карты местности с размещенными на ней станциями.

4. Результаты расчетов.

5. Выводы по полученным данным расчетов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение мощности сигнала на входе приемника.

2. Как определяется мощность интерференционных помех, создаваемых шестью мешающими передатчиками совмещенного канала, расположенными в первом шестиугольнике?

3. Дайте определение отношения сигнал/(шум + интерференционная помеха).



4. Как определяется полоса, занимаемая каналом при M -позиционной модуляции, если известна его полоса при $M = 2$?
5. Как определяется суммарное число каналов в сети радиосвязи с FDMA для заданной полосы частот?
6. Как определяется число каналов, доступных на одной базовой станции в сети радиосвязи с FDMA?
7. Поясните причину уменьшения необходимой размерности кластера при переходе на базовых станциях от круговых антенн к секторным.
8. Как определяется количество абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией, при круговых антеннах?
9. Как определяется количество абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией, при секторных антеннах с числом наборов частот на базовой станции, равном числу секторов?
10. Как определяется количество абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией, при секторных антеннах с числом наборов частот на базовой станции, меньшем числа секторов?
11. Поясните, почему при шестисекторных антеннах на базовых станциях переход от шести наборов частот к двум наборам позволяет увеличить количество абонентов, обслуживаемых базовой станцией.



Введение.....	3
1. Работа в программном пакете RPS-2	5
1.1. Краткие сведения по моделированию систем радиосвязи	5
1.2. Возможности пакета RPS-2	9
1.3. Моделирование систем связи в RPS-2.....	11
1.4. Интерфейс RPS-2	12
1.5. Лабораторная работа № 1. Частотно-территориальное планирование сети GSM-900	15
1.6. Лабораторная работа № 2. Изучение моделей распространения радиосигналов	25
1.7. Лабораторная работа № 3. Изучение методов расчета параметров радиосетей.....	34



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Самоорганизующиеся сети мобильной связи»
для студентов направления подготовки

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность (профиль)

«Интеллектуальная обработка данных в инфокоммуникационных
системах и сетях»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ»	7
2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	11
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА	14
4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	20
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	27

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая значительную часть учебного времени обучаемого.

В связи с этим, обучаемому из пассивного потребителя знаний необходимо превратиться в активного их творца, умеющего сформулировать проблему, проанализировать пути ее решения, найти оптимальный результат и доказать его правильность. Происходящая в настоящее время реформа высшего образования связана по своей сути с переходом парадигмы обучения к парадигме образования. В этом плане следует признать, что самостоятельная работа студентов является не просто важной формой образовательного процесса, а должна стать его основой. Это предполагает ориентацию на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей студентов, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей личности.

В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

Самостоятельная работа *в контакте с преподавателем* реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий – на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ;
- вне рамок расписания – на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Видами заданий для *внеаудиторной* самостоятельной работы могут быть:

1. Для овладения знаниями:

– чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы);

– составление плана текста;

– графическое изображение структуры текста;

– конспектирование текста;

– работа со словарями и справочниками;

– работа с нормативными документами;

– учебно-исследовательская работа;

– использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники,

Интернет и др.

2. Для закрепления и систематизации знаний:

– работа с конспектом лекции (обработка текста);

– повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей);

– составление плана и тезисов ответа;

– составление таблиц для систематизации учебного материала;

– изучение нормативных материалов;

– ответы на контрольные вопросы;

– аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект, анализ и др.);

– подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;

– подготовка рефератов, докладов;

– составление библиографии;

– тестирование и др.

3. Для формирования умений:

– решение задач и упражнений по образцу;

- решение вариантных задач и упражнений;
- решение ситуационных производственных (профессиональных) задач;
- подготовка к деловым играм;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности;
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);
- экспериментальная работа;
- рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием аудио- и видеотехники и др.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ»

Целью самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Самоорганизующиеся сети мобильной связи» является формирование у обучающихся личностных качеств, а также набора профессиональных компетенций будущего бакалавра в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Задачи самостоятельной работы:

- дать студентам представление о принципах построения, проектирования, функционирования и использования современных беспроводных мобильных сетей связи;
- привить студентам навыки исследовательской работы, предполагающей самостоятельное изучение рабочей документации, специфических инструментов и программных средств, позволяющих спроектировать беспроводную мобильную сеть связи.

В рабочей программе дисциплины «Самоорганизующиеся сети мобильной связи» определены следующие виды самостоятельной работы:

- подготовка к лабораторной работе;
- самостоятельное изучение литературы.

Целью вида самостоятельной работы «Подготовка к лабораторной работе» по дисциплине «Самоорганизующиеся сети мобильной связи» является закрепление студентами теоретического материала по специальности и выработка навыков самостоятельной профессиональной и научно-исследовательской деятельности в области инфокоммуникационных систем и сетей.

Задачи вида самостоятельной работы «Подготовка к лабораторной работе» по дисциплине «Самоорганизующиеся сети мобильной связи»

обусловлены необходимостью получения студентом знаний, умений, навыков согласно требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, на основе которых формируются соответствующие результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1. Способен к развитию коммутационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи данных, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых систем связи	ИД-1 ПК-1 понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях связи, в Законодательстве Российской Федерации в области связи.	Понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей мобильной связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандарты качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях мобильной связи, в Законодательстве Российской Федерации в области мобильной связи.
	ИД-2 ПК-1 анализирует статистические параметры трафика, вырабатывает решения по оперативному переконфигурированию сети, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ, по применению оборудования новых технологий; изменению и корректировке параметров коммутационной подсистемы, транспортных сетей и сетей передачи данных, по организации новых и расширению имеющихся направлений связи.	Анализирует статистические параметры трафика, вырабатывает решения по оперативному переконфигурированию сети мобильной связи, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ, по применению оборудования новых технологий.
	ИД-3 ПК-1. анализирует статистику основных показателей эффективности радиосистем и систем передачи данных, разрабатывает мероприятия по их поддержанию на требуемом уровне, выполняет расчет пропускной способности сетей телекоммуникаций.	Анализирует статистику основных показателей эффективности радиосистем, разрабатывает мероприятия по их поддержанию на требуемом уровне, выполняет расчет пропускной способности сетей мобильной связи.
	ИД-4 ПК-1 разрабатывает схемы организации связи и интеграции новых сетевых элементов, осуществляет построение и расширение коммутационной подсистемы и сетевых платформ; выполняет работы на коммутационном оборудовании,	Разрабатывает схемы организации связи и интеграции новых сетевых элементов; использует методы развертывания оборудования сервисных платформ, оборудования новых технологий на сети мобильной связи,

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
	развертывает оборудование сервисных платформ, оборудование новых технологий на сети, выполняет планы по расширению существующего оборудования сетевых платформ и новых технологий.	выполнения планов по расширению существующего оборудования сетевых платформ и новых технологий.

Целью вида самостоятельной работы «Самостоятельное изучение литературы» по дисциплине «Самоорганизующиеся сети мобильной связи» является расширение и закрепление знаний, приобретаемых студентом на традиционных формах занятий и выработка навыков самостоятельной работы с литературой и источниками.

Задачи вида самостоятельной работы «Самостоятельное изучение литературы» по дисциплине «Самоорганизующиеся сети мобильной связи» обусловлены необходимостью получения студентом знаний, умений, навыков согласно требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, на основе которых формируются соответствующие результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1. Способен к развитию коммутационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи данных, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых	ИД-1 _{ПК-1} понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях связи, в Законодательстве Российской Федерации в области связи.	Понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей мобильной связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандарты качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях мобильной связи, в Законодательстве Российской Федерации в области

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
систем связи		мобильной связи.
	ИД-2ПК-1 анализирует статистические параметры трафика, вырабатывает решения по оперативному переконфигурированию сети, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ, по применению оборудования новых технологий; изменению и корректировке параметров коммутационной подсистемы, транспортных сетей и сетей передачи данных, по организации новых и расширению имеющихся направлений связи.	Анализирует статистические параметры трафика, вырабатывает решения по оперативному переконфигурированию сети мобильной связи, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ, по применению оборудования новых технологий.
	ИД-3ПК-1. анализирует статистику основных показателей эффективности радиосистем и систем передачи данных, разрабатывает мероприятия по их поддержанию на требуемом уровне, выполняет расчет пропускной способности сетей телекоммуникаций.	Анализирует статистику основных показателей эффективности радиосистем, разрабатывает мероприятия по их поддержанию на требуемом уровне, выполняет расчет пропускной способности сетей мобильной связи.
	ИД-4ПК-1 разрабатывает схемы организации связи и интеграции новых сетевых элементов, осуществляет построение и расширение коммутационной подсистемы и сетевых платформ; выполняет работы на коммутационном оборудовании, развертывает оборудование сервисных платформ, оборудование новых технологий на сети, выполняет планы по расширению существующего оборудования сетевых платформ и новых технологий.	Разрабатывает схемы организации связи и интеграции новых сетевых элементов; использует методы развертывания оборудования сервисных платформ, оборудования новых технологий на сети мобильной связи, выполнения планов по расширению существующего оборудования сетевых платформ и новых технологий.

2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с лабораторными занятиями, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности.

Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием количества часов и видов занятий

№	Раздел (тема) дисциплины и краткое содержание	Формируемые компетенции, индикаторы	очно-заочная форма				Формы текущего контроля успеваемости
			Контактная работа обучающихся с преподавателем /из них в форме практической подготовки, часов			Самостоятельная работа, часов	
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы		
1	Эволюция сетей связи следующего поколения. Эволюция фиксированных сетей связи общего пользования. Эволюция сетей мобильной связи. Конвергенция FMC. Эволюция IP-сетей.	ИД-1 ПК-1 ИД-2 ПК-1 ИД-3 ПК-1 ИД-4 ПК-1	2		–	14	Собеседование
2	Интернет вещей. Прогнозы и новые концепции развития сетей связи. Самоорганизация сетей в концепции IoT. Муниципальные сети. Медицинские сети. Лабораторная работа № 1. Частотно-территориальное планирование сети GSM-900.	ИД-1 ПК-1 ИД-2 ПК-1 ИД-3 ПК-1 ИД-4 ПК-1	2		4	14	Собеседование

3	IP Multimedia Subsystem. Идея IMS. Функциональные преимущества. Архитектура IMS. Пользовательские базы HSS и SLF. Функция SIP-сервера. Серверы приложений. Медиасерверы MRF. Шлюз PSTN/CS. Шлюз защиты SEG. Опции оплаты и биллинга в IMS. Идентификация в IMS. IMS в стационарных сетях. Нововведения и перспективы IMS. Лабораторная работа № 2. Изучение моделей распространения радиосигналов.	ИД-1 ПК-1 ИД-2 ПК-1 ИД-3 ПК-1 ИД-4 ПК-1	2		6	14	Собеседование
4	Долговременная эволюция LTE-A/SAE. Продолжение эволюции мобильной связи. Цели LTE/SAE. E/UTRAN. Эволюция сетевой архитектуры SAE. Узел управления мобильностью MME. Обслуживающий шлюз S-GW. Шлюз пакетной сети передачи P-GW. Другие сетевые элементы LTE/A. Самоорганизующиеся сети SON. Лабораторная работа № 3. Изучение методов расчета параметров радиосетей.	ИД-1 ПК-1 ИД-2 ПК-1 ИД-3 ПК-1 ИД-4 ПК-1	4		6	28	Собеседование
5	Всепроницающие сенсорные сети. Основы появления сенсорных сетей как составляющей ССОП. История создания сенсорных сетей. Архитектура сенсорных сетей. Архитектура сенсоров. Алгоритмы маршрутизации USN. Алгоритмы выбора головного узла в кластере. Алгоритм распределенной кластеризации.	ИД-1 ПК-1 ИД-2 ПК-1 ИД-3 ПК-1 ИД-4 ПК-1	2		—	14	Собеседование
6	Сети автомобильного транспорта. Общие сведения о VANET. Функциональная архитектура, станции и подсистемы ИТС.	ИД-1 ПК-1 ИД-2 ПК-1 ИД-3 ПК-1 ИД-4 ПК-1	2		—	14	Собеседование

	Виды взаимодействия в сетях VANET. Приложения сетей VANET.						
7	Молекулярные наносети. Наносети как направление развития сетей связи. Классификация молекулярных наносетей. Приложения наносетей.	ИД-1 ПК-1 ИД-2 ПК-1 ИД-3 ПК-1 ИД-4 ПК-1	2		–	14	Собеседование
	ИТОГО		16		16	112	

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

При работе с рекомендованной литературой и источниками студенту необходимо, в первую очередь, обратить внимание на следующие моменты:

1. Внимательно изучить материалы, характеризующие курс и тематику самостоятельного изучения, что изложено в учебно-методическом комплексе по дисциплине. Это позволит четко представить как круг, изучаемых тем, так и глубину их постижения.

2. Составить подборку литературы, достаточную для изучения предлагаемых тем. В учебно-методическом комплексе или методических рекомендациях обязательно представлены основной и дополнительный списки литературы, доступные для студентов. Они носят рекомендательный характер, это означает, что всегда есть литература, которая может не входить в данный список, но является необходимой для освоения темы. При этом следует иметь в виду, что нужна литература различных видов:

- учебники, учебные и учебно-методические пособия;
- монографии, сборники научных статей, публикации в журналах;
- справочная литература – энциклопедии, словари, тематические, терминологические справочники;

3. Обучаемый должен совершать собственные интеллектуальные усилия, а не только механически заучивать понятия и положения.

Вопросы для собеседования по вопросам темы выносимой на самостоятельное изучение

Тема 1. Эволюция сетей связи следующего поколения

1. Эволюция фиксированных сетей связи общего пользования.
2. Три тройки ТфОП.
3. Модемы xDSL и технологии FTTx в сетях доступа.

4. Интеллектуальная сеть.
5. ISDN.
6. Эволюция сетей мобильной связи.
7. Поколения сетей мобильной связи.
8. Релиз 99. Основы UMTS.
9. Релиз 10. LTE-Advanced.
10. Конвергенция FMC.
11. Эволюция IP-сетей.

Тема 2. Интернет вещей

1. Прогнозы и новые концепции развития сетей связи.
2. Самоорганизация сетей в концепции IoT.
3. Муниципальные сети.
4. Медицинские сети.

Тема 3. IP Multimedia Subsystem

1. Идея IP Multimedia Subsystem.
2. Функциональные преимущества IMS.
3. Мультимедийные IP-сеансы.
4. Качество обслуживания в IMS.
5. Взаимодействие с другими сетями.
6. Инвариантность доступа в IMS.
7. Создание услуг в IMS и управление услугами.
8. Роуминг в IMS.
9. Защита информации в IMS.
10. Начисление платы в IMS.
11. Архитектура IMS.
12. Опции оплаты и биллинга в IMS.
13. Идентификация в IMS.
14. IMS в стационарных сетях.

Тема 4. Долговременная эволюция LTE-A/SAE

1. Продолжение революции мобильной связи.

2. Цели LTE/SAE.
3. E/UTRAN.
4. Эволюция сетевой архитектуры SAE.
5. Узел управления мобильностью MME.
6. Обслуживающий шлюз S-GW.
7. Шлюз пакетной сети передачи P-GW.
8. Другие сетевые элементы LTE/A.
9. Самоорганизующиеся сети SON.

Тема 5. Всепроникающие сенсорные сети

1. Основы появления сенсорных сетей как составляющей ССОП.
2. История создания сенсорных сетей.
3. Архитектура сенсорных сетей.
4. Архитектура сенсоров.
5. Алгоритмы маршрутизации USN.
6. Классификация алгоритмов маршрутизации в USN.
7. Алгоритмы выбора головного узла в кластере.
8. Алгоритм распределенной кластеризации.
9. Мобильные сенсорные сети.
10. Комбинированный критерий прогнозирования.
11. Предикторы.
12. Распределенный алгоритм кластеризации.
13. Результаты моделирования кластеризации.
14. Новые алгоритмы для мобильных сенсорных сетей.

Тема 6. Сети автомобильного транспорта

1. Общие сведения о VANET.
2. Функциональная архитектура, станции и подсистемы VANET.
3. Виды взаимодействия в сетях VANET.
4. Приложения сетей VANET.

Тема 7. Молекулярные наносети

1. Наносети как направление развития сетей связи.

2. Классификация молекулярных наносетей.
3. Приложения наносетей.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он выполняет в полном объеме и безошибочно задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на высоком уровне способность решать стандартные и нестандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он выполняет, допуская незначительные ошибки, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на среднем уровне способность решать только стандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он выполняет, допуская ошибки, исправление которых осуществляет с помощью наводящих вопросов преподавателя, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на минимальном уровне способность решать стандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он, выполняя задания оценочных средств по дисциплине, не достигает минимального уровня сформированности компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом не демонстрирует способность решать

стандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя собеседование по указанным в разделах вопросам. Следует ориентироваться на количество заданий, указанных в Паспорте фонда оценочных средств (сводная таблица).

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить сформированность компетенции ПК-1.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу, указанную в Рабочей программе данной дисциплины. При получении задания студент должен сразу же, без подготовки, отвечать на вопросы собеседования.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования техническими средствами для выполнения расчетно-графических заданий, картами, справочниками, таблицами и другой справочной литературой только при наличии соответствующего разрешения кафедры.

При проверке уровня освоения тем, выносимых на самостоятельное изучение, оцениваются:

- полнота знаний;
- системность и обобщенность знаний;
- глубина знаний;
- оперативность знаний.

Оценочный лист

№ п/п	ФИО студента	Баллы (0 – 0,5 – 1)				
		Даны ответы на все вопросы базового уровня	Понимание сути излагаемого материала	Речь грамотная, ясная, точная	Анализ сути вопроса, приведение собственных примеров	Даны ответы на вопросы повышенного уровня
1.						
2.						

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

При проведении лабораторных работ по дисциплине «Самоорганизующиеся сети мобильной связи» студент должен знать и владеть навыками, содержание, которых представлено в программе по дисциплине.

5.1. Методические указания при подготовке к лабораторной работе

Подготовку к лабораторной работе рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- уяснить тему и цель, предстоящего занятия;
- изучить теоретический материал в соответствии с темой занятия (рекомендуется использовать рекомендованную литературу, конспект лекций, учебное пособие (практикум)).

5.2. Методические указания при выполнении задания лабораторной работы

При выполнении задания лабораторной работы студенты должны строго соблюдать, установленные правила охраны труда.

При выполнении задания студентам рекомендуется:

- уяснить цель, выполняемых заданий и способы их решения;
- задания, выполнять в той последовательности, в которой они указаны в практикуме;
- при выполнении задания и изучении теоретического материала использовать помощь преподавателя;
- оформить отчет по лабораторной работе;
- ответить на контрольные вопросы.

5.3. Методические указания при подготовке к защите лабораторной работы

При подготовке к защите лабораторной работы студентам рекомендуется:

- подготовить отчет по лабораторной работе;
- уметь обосновать, сделанные выводы;
- закрепить знания теоретического материала по теме занятия (рекомендуется использовать контрольные вопросы);
- знать порядок проведения расчетов (проводимых исследований).

Защита лабораторной работы осуществляется путем собеседования студента с преподавателем. При собеседовании студент представляет на проверку отчет по лабораторной работе.

Собеседование со студентом, претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам повышенного уровня обученности.

Собеседование со студентом, не претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам базового уровня, которые приведены в фонде оценочных средств по дисциплине.

Вопросы (задания) для проверки уровня обученности

Базовый уровень

Лабораторная работа 1. Частотно-территориальное планирование сети GSM-900.

1. Дайте определение частотно-территориальному плану.
2. Что называется кластером?
3. Как влияет коэффициент повторного использования частот на емкость сети?
4. В чем отличие микросотовых сетей подвижной связи от макросотовых сетей?
5. Поясните процедуру «ведение абонента», «роуминг».
6. Поясните назначение центра коммутации.

7. Каково назначение интерфейсов в сетях сотовой связи?
8. Какая модель использовалась при расчете потерь мощности сигнала на трассе распространения?
9. Какова особенность антенн типа OMNI?
10. Каково максимальное расстояние, при котором еще имеет место уверенный прием сигнала в стандарте GSM-900?
11. Какие типы препятствий на трассе вызывают наибольшие потери мощности сигнала?
10. Какие параметры входят в модель Окамуры?

Лабораторная работа 2. Изучение моделей распространения радиосигналов.

1. Какие факторы приводят к потерям при распространении радиоволн?
2. Поясните основные физические эффекты и изучаемые явления при распространении радиоволн: дифракция, отражение, преломление, рассеяние, замирание.
3. Для каких систем связи (наземных или спутниковых) поглощение мощности сигнала в атмосфере является наиболее существенным фактором?
4. Какие характеристики деревьев наиболее существенно влияют на затухание сигнала?
5. Дайте определение электромагнитной совместимости.
6. Дайте определение понятия «кластер сот». В чем преимущества и недостатки кластеризации сот?
7. С какой целью выполняется секторизация соты?
8. На каких частотах работают радиорелейные линии связи, и какие факторы в наибольшей степени влияют на устойчивость их функционирования?

9. Какой фактор является наиболее неблагоприятным фактором, вызывающим потери мощности сигнала в атмосфере на частотах выше 1 ГГц?

10. Дайте классификацию основных типов помех в системах подвижной связи.

11. Какого типа помехи наиболее существенно ухудшают связь в диапазоне 800–900 МГц, и что является их источником?

Лабораторная работа 3. Изучение методов расчета параметров радиосетей.

1. Дайте определение мощности сигнала на входе приемника.
2. Как определяется мощность интерференционных помех, создаваемых шестью мешающими передатчиками совмещенного канала, расположенными в первом шестиугольнике?
3. Дайте определение отношения сигнал/(шум + интерференционная помеха).
4. Как определяется полоса, занимаемая каналом при М-позиционной модуляции, если известна его полоса при $M = 2$?
5. Как определяется суммарное число каналов в сети радиосвязи с FDMA для заданной полосы частот?
6. Как определяется число каналов, доступных на одной базовой станции в сети радиосвязи с FDMA?
7. Поясните причину уменьшения необходимой размерности кластера при переходе на базовых станциях от круговых антенн к секторным.
8. Как определяется количество абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией, при круговых антеннах?
9. Как определяется количество абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией, при секторных антеннах с числом наборов частот на базовой станции, равном числу секторов?

10. Как определяется количество абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией, при секторных антеннах с числом наборов частот на базовой станции, меньшем числа секторов?

11. Поясните, почему при шестисекторных антеннах на базовых станциях переход от шести наборов частот к двум наборам позволяет увеличить количество абонентов, обслуживаемых базовой станцией.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он выполняет в полном объеме и безошибочно задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на высоком уровне способность решать стандартные и нестандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он выполняет, допуская незначительные ошибки, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на среднем уровне способность решать только стандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он выполняет, допуская ошибки, исправление которых осуществляет с помощью наводящих вопросов преподавателя, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на минимальном уровне способность решать стандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он, выполняя задания оценочных средств по дисциплине, не достигает минимального уровня сформированности компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом не демонстрирует способность решать стандартные прикладные практические задачи реализации технологий в области создания и функционирования современных беспроводных мобильных сетей связи.

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя собеседование по указанным в разделах вопросам. Следует ориентироваться на количество заданий, указанных в Паспорте фонда оценочных средств (сводная таблица).

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить сформированность компетенции ПК-1.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу, указанную в Рабочей программе данной дисциплины. При получении задания студент должен сразу же, без подготовки, отвечать на вопросы собеседования.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования техническими средствами для выполнения расчетно-графических заданий, картами, справочниками, таблицами и другой справочной литературой только при наличии соответствующего разрешения кафедры.

При проверке задания, оцениваются:

- последовательность выполнения задания, представленного в лабораторной работе;
- рациональность выполнения задания, представленного в лабораторной работе;

– точность расчетов при выполнении задания, представленного в лабораторной работе.

Оценочный лист

№ п/п	ФИО студента	Баллы (0 – 0,5 – 1)				
		Даны ответы на все вопросы базового уровня	Понимание сути излагаемого материала	Речь грамотная, ясная, точная	Анализ сути вопроса, приведение собственных примеров	Даны ответы на вопросы повышенного уровня
1.						
2.						

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Дубков, И. С. Решение практических задач на базе технологии интернета вещей Электронный ресурс / Дубков И. С., Сташевский П. С., Яковина И. Н. : учебное пособие. - Новосибирск : НГТУ, 2017. - 80 с.

2. Росляков, А.В. Интернет вещей Электронный ресурс : учебное пособие / А.Ю. Гребешков / С.В. Ваняшин / А.В. Росляков. - Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015. - 135 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

Дополнительная литература:

1. Баранникова, И. В. Вычислительные машины, сети и системы. Функционально-структурная организация вычислительных систем Электронный ресурс : Учебное пособие / И. В. Баранникова, А. Н. Гончаренко. - Вычислительные машины, сети и системы. Функционально-структурная организация вычислительных систем, 2019-09-01. - Москва : Издательский Дом МИСиС, 2017. - 103 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS.

2. Клашанов, Ф. К. Вычислительные системы и сети, облачные технологии Электронный ресурс / Клашанов Ф. К. : учебно-методическое пособие. - Москва : МИСИ – МГСУ, 2020. - 40 с.

3. Пятибратов, А. П. Вычислительные машины, сети и телекоммуникационные системы Электронный ресурс : Учебное пособие / А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Кириченко. - Вычислительные машины, сети и телекоммуникационные системы, 2019-02-17. - Москва : Евразийский открытый институт, 2009. - 292 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS.