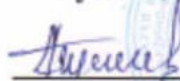


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова»
(КБГУ)

Институт электроники, робототехники и искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП

 Р.Ш. Тешев

« 12 » февраля 2025 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Б1.В.08.01 «СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ»

Специальность

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация

Радиоэлектронные системы передачи информации

Квалификация (степень) выпускника

Инженер

Форма обучения

Очная

Нальчик 2025

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1

Код и формулировка компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУН)
ПК-4. Способен к проведению диагностики, оценки качества и надежности в процессе эксплуатации радиоэлектронных систем и комплексов.	ПК-4.1. Способен учитывать специфику и особенности различного назначения радиоэлектронных систем и комплексов при оценке эффективности работы функциональных узлов и частей радиоэлектронной аппаратуры. ПК-4.2 Способен контролировать проведение диагностики и определять категории оценки качества на надежность, долговечность и безотказность работы радиоэлектронных систем и их составных частей.	Знать специфику и особенности различного назначения радиоэлектронных систем и комплексов при оценке эффективности работы функциональных узлов и частей радиоэлектронной аппаратуры. Уметь контролировать проведение диагностики радиоэлектронных систем и их составных частей. Владеть методами оценки качества на надежность, долговечность и безотказность работы радиоэлектронных систем и их составных частей. исследований.

2. Шкала оценивания планируемых результатов обучения

2.1 Текущий контроль

Оценка результатов текущей успеваемости в рамках контрольных точек осуществляется посредством 70-балльной системы, при этом за добросовестное посещение занятий обучающийся может набрать до 10 баллов, за качественное прохождение оценочных мероприятий - до 60 баллов.

Карта распределения рейтинговых баллов в рамках текущего контроля

Таблица 2

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Практическая работа №1 «Характеристики беспроводных каналов связи, модели радиотрасс, расчет бюджета радиолинии»	письменная	Работа включает в себя три задания, выполняется студентами попарно.	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 2÷3 – задание выполнено верно, незначительные ошибки в результатах или выводах, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов; 1 – выполнено минимальное количество заданий; выводы содержат ошибки; 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
2	Практическая работа №2 «Модуляция, кодирование и разделение каналов».	письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 2÷3 – задание выполнено верно, незначительные ошибки в результатах или выводах, даны правильные ответы на большую часть

					контрольных вопросов; 1 – выполнено минимальное количество заданий; выводы содержат ошибки; 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
3	Практическая работа №3 «Моделирование сигналов с цифровой модуляцией. Моделирование сигналов DSSS . Моделирование сигналов OFDM»	письменная	Работа включает в себя три задания, выполняется студентами попарно.	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 2÷3 – задание выполнено верно, незначительные ошибки в результатах или выводах, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов; 1 – выполнено минимальное количество заданий; выводы содержат ошибки; 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
4	Практическая работа №4 «Беспроводные сети Wi-Fi. Анализ физического уровня. Анализ уровня Data Link».	письменная	Работа включает в себя три задания, выполняется студентами попарно.	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 2÷3 – задание выполнено верно, незначительные ошибки в результатах или выводах, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов; 1 – выполнено минимальное количество заданий; выводы содержат ошибки; 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
	Лабораторная работа №1 Исследование принципов работы устройств на базе технологии SDR и их практическое применение	письменная	Работа включает в себя три задания, выполняется студентами попарно.	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 2÷3 – задание выполнено верно, незначительные ошибки в результатах или выводах, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов; 1 – выполнено минимальное количество заданий; выводы содержат ошибки; 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
	Исследование диапазона GSM-900. Анализ качества покрытия базовыми станциями в пределах местонахождения	письменная	Работа включает в себя три заданий, выполняется студентами попарно.	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 2÷3 – задание выполнено верно, незначительные ошибки в результатах или выводах, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов; 1 – выполнено минимальное

					количество заданий; выводы содержат ошибки; 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
7	Тесты по 1 контрольной точке	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	9	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
8	Тесты по 2 контрольной точке	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	9	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
9	Коллоквиум по 1 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	9	9 – ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 7÷8 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 4÷6- ответы недостаточно полные; 1÷3 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные
10	Коллоквиум по 2 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	9	9 – ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 7÷8 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 4÷6- ответы недостаточно полные; 1÷3 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные
	Итого:			60	

Карта распределения баллов в рамках промежуточной аттестации

Таблица 3

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
---	--------------------	------------------	--------------------	--------------------------------	---------------------

1	Экзаменационная работа	Письменная	В билете два вопроса на которые студент должен ответить устно, после предварительной подготовки.	Теоретические вопросы - 30 баллов	Критерии оценивания теоретических вопросов: 25 до 30 баллов: Глубокий уровень владения материалом, точное знание ключевых концепций, способность анализировать и интерпретировать факты, грамотно строить высказывания, привести примеры, свободно оперировать терминологией. От 19 до 24 баллов: Базовое владение предметом, умение последовательно раскрыть основную мысль вопроса, грамотное применение терминов, наличие существенных элементов анализа и обобщений, но недостаточное развертывание или отдельные неточности. От 13 до 18 баллов: Частичное освоение материала, попытка объяснить основной смысл вопроса, использование некоторых базовых терминов, но отсутствие глубокого понимания сложных моментов, логические недостатки изложения, отсутствие выводов. От 7 до 12 баллов: Ошибочные представления, слабо выраженное владение основными понятиями, значительные затруднения в интерпретации вопросов, существенные фактологические ошибки, отсутствие обоснованных выводов и примеров. От 0 до 6 баллов: Полное непонимание темы, неспособность сформулировать адекватный ответ, грубые ошибки, несоответствие требованиям задания.
---	------------------------	------------	--	-----------------------------------	--

3. Оценочные материалы для текущего и промежуточного контроля успеваемости

3.1. Оценочные материалы для текущего контроля

Пример типовой лабораторной работы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОНА GSM-900. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ БАЗОВЫМИ СТАНЦИЯМИ В ПРЕДЕЛАХ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ

1.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Целью настоящей лабораторной работы является:

1. Получение теоретических сведений о принципе работы стандарта системы сотовой связи GSM, его особенностях, топологии сети.
2. Проверка на практике диапазона работы базовых станций системы сотовой подвижной радиосвязи GSM в г. Воронеже.
3. Получение практических навыков анализа покрытия БС в пределах местонахождения абонента операторами сотовой связи в г. Воронеже, оценка качества связи.

При выполнении домашнего задания студенты должны изучить принцип работы стандарта системы сотовой связи GSM, его отличительные особенности, а также топологию сети, диапазон работы базовых станций основных операторов предоставления услуг связи в г. Воронеже.

В процессе выполнения лабораторного исследования студенты изучают методику оценки качества связи и покрытия территории базовыми станциями системы сотовой связи

GSM, рабочего частотного диапазона БС операторов сотовой связи в г. Воронеже.

При выполнении работы студенты используют следующее оборудование:

- лабораторный стенд RTL-SDR-R820T2;
- персональный компьютер с ОС Windows версии 7, 8.1 или 10 (сборка не менее номера 1703);
- прикладное программное обеспечение сканирования радиоэффира RTL-SDR Scanner;
- прикладное программное обеспечение сканирования, анализа и идентификации нисходящих каналов GSM-900 RFDSP GSM Scanner.

1.2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка содержит РПУ на базе платформы RTL-SDR с интерфейсом подключения к ПК USB 2.0 и разъемом подключения антенны MCX (рис. 36), переходник для подключения антенны MCX М – SMA F, приемную антенну «веерный вибратор» с SMA разъемом, провод-удлиннитель USB 2.0 М – USB 2.0 F, персональный компьютер (ноутбук) с установленной операционной системой не ниже Windows 7 и программным обеспечением для сканирования радиоэффира RTL-SDR Scanner и сканирования, анализа и идентификации нисходящих каналов GSM-900 RFDSP GSM Scanner.

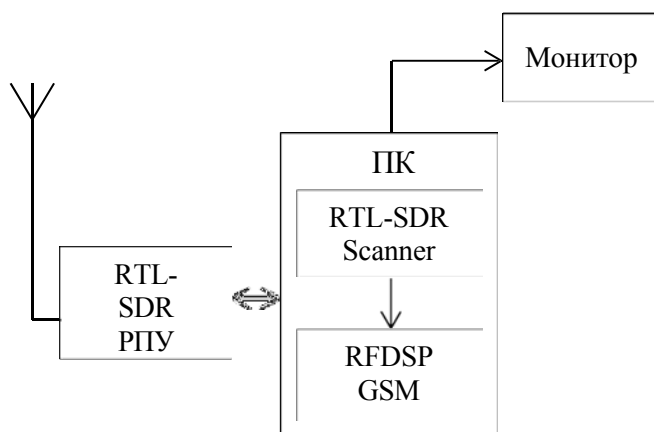


Рис. 36. Структурная схема лабораторной установки

Изначально предполагается, что перед выполнением данной лабораторной работы студент владеет знаниями о технологии SDR, методике подключения RTL-SDR РПУ к персональному компьютеру (ноутбуку) с установленным драйвером RTL-SDR в ОС Windows.

1.3. СОТОВЫЕ СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Цель занятия: изучение принципов построения сотовых систем подвижной радиосвязи ССПР, в том числе:

- территориальной организации ССПР;
- частотной организации ССПР;
- способов борьбы с системными помехами в ССПР;
- биологической безопасности радиосредств ССПР;
- ССПР стандарта GSM;
- структуры ССПР GSM;
- технических характеристик сигналов стандарта GSM;
- особенностей модуляции GMSK;

- частотно-временной структуры сигнала и канального интервала в стандарте GSM;
 - логических и физических каналов ССПР GSM;
 - решения Государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи России от 1 июля 2016 г. № 16-37-03 «Об использовании радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы полос радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц».
- В процессе подготовки к занятиям следует пользоваться литературой [1–4].

Краткие теоретические сведения

1. В ССПР территорию обслуживания разделяют на ячейки (соты, сайты), при этом территориальную организацию реализуют с учетом следующих требований:

- минимальное количество сот (базовых станций и стоимости), но достаточное для обслуживания реального трафика;
- наилучшее покрытие обслуживаемой территории (минимальные зоны отсутствия связи).

Разделить территорию на ячейки можно такими способами:

- на участки одинаковой формы и размера исходя из среднестатистических характеристик распространения радиоволн в регионе действия ССПР;
- на зоны радиовидимости различной формы и размеров, на границах которых имеется одинаковый заданный уровень (порог) напряженности поля.

При реализации первого способа обслуживаемую территорию разделяют на одинаковые по форме зоны и с помощью закона статистической радиофизики определяют их допустимые размеры и расстояния до других зон, в пределах которых выполняются условия допустимого взаимного влияния. Для оптимального разделения территории на соты, т. е. без перекрытия или пропусков участков, можно использовать только три геометрические фигуры – треугольник, квадрат и шестиугольник. Наиболее эффективный – шестиугольник, так как при установке в его центре антенны с круговой диаграммой направленности обеспечивается радиодоступ почти ко всем участкам соты (рис. 37).

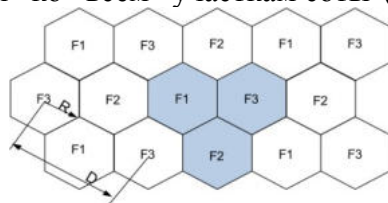


Рис. 37. Разделение территории на соты

Отметим на рисунке, что D – это расстояние между центрами сот, или защитный интервал, а R – радиус сот.

Эти показатели определяют защитный (от системных помех) коэффициент $q = D/R$. При этом чем больше q , тем меньше вероятность помех, создаваемых сигналами удаленных сот, работающих на тех же частотах.

Размеры аппроксимированных сот обычно меньше реальных, интервал между сотами, где используют одинаковые рабочие каналы, меньше требуемого для поддержания взаимных помех на допустимом уровне, а количество сот и базовых станций увеличено.

При реализации второго способа тщательно измеряют или рассчитывают зоны радиовидимости, в которых обеспечивается удовлетворительное обслуживание абонентов, определяют оптимальное расположение базовой станции с учетом рельефа местности, рассматривают для выравнивания зон возможность использования направленных антенн, пассивных ретрансляторов и т. д. Этот способ позволяет иметь минимальное число сот и, следовательно, базовых станций, поэтому он трудоемкий, но более точный и экономически выгодный.

На первых этапах проектирования системы радиосвязи обычно используют первый способ, а на последующих – второй.

2. Частотный план ССПР с тремя наборами F_1 , F_2 , F_3 частот базовых станций показан на рис. 37. Группа сот с различными наборами частот называется кластером. Например, размерность кластера C равна трем (см. рис. 37).

В общем случае размерность кластера может принимать значения из целых чисел $C \geq 3$, которые определяются соотношением

$$C = i^2 + j^2 + ij,$$

где i, j – натуральные числа и нуль, причем $i \leq j$.

Например, $C = 3$ ($i = 1, j = 1$); $C = 4$ ($i = 0, j = 2$);
 $C = 7$ ($i = 1, j = 2$); $C = 12$ ($i = 2, j = 2$); $C = 13$ ($i = 1, j = 3$) и т. д.
Размерности кластеров современных ССПР – 3, 4, 7, 9, 12

и 21.

Смежные базовые станции образуют кластерную группу станций. Если каждой базовой станции выделяют T каналов с шириной полосы каждого F , то общая ширина полосы, занимаемая кластерной группой станций и ССПР в целом, составит $F_c = FTS$.

Если $T = 1$, т. е. в соте находится один среднестатистический абонент, то $F_c = F_{c_{\min}} = FS$. Поэтому величина C определяет минимально возможное число каналов в системе, ее называют частотным параметром или коэффициентом повторения частот. При уменьшении радиуса сот увеличивается их число, уменьшается количество абонентов в одной соте, что позволяет повысить эффективность использования выделенной полосы частот, увеличить абонентскую емкость системы, уменьшить мощность передатчиков, чувствительность приемников базовых и подвижных станций, улучшить условия электромагнитной совместимости средств сотовой связи с другими радиоэлектронными средствами и системами и повысить безопасность работы абонентов с радиосредствами ССПР.

Если радиус ячейки R уменьшить так, что в соте будет всего один абонент, т. е. $T = 1$, то минимально возможная полоса ССПР $F_{c_{\min}} = 3F$, поскольку наименьший кластер $C = 3$.

Таким образом, полоса частот ССПР с сотнями сот и тысячами абонентов может теоретически иметь полосу частот, превышающую полосу частот системы децентрализованной связи с тремя абонентами только лишь в три раза.

Однако в реальных случаях такой выигрыш не получается, так как из-за миграции абонентов количество

каналов в соте выбирают по числу абонентов T_{cp} или по максимальному $T_{чнн}$ в час наибольшей нагрузки (ЧНН).

Известны следующие способы распределения частотных каналов:

– фиксированный – каждой базовой станции назначают определенный набор частотных каналов, соответствующий числу абонентов T_{cp} в соте;

– динамический – частотные каналы не закрепляют за базовыми станциями, а выдают в зависимости от потребности в количестве, соответствующем $T_{чнн}$;

– гибридный (смешанный) – часть каналов закрепляют за базовыми станциями, а другие – выдают в зависимости от потребности.

В большинстве современных ССПР используют фиксированное распределение каналов. Номера каналов в каждом секторе антенной системы определяют соотношением

$$n_k = K + imC,$$

где K – номер сектора в кластере; m – количество секторов в соте; i

– натуральные числа и нуль.

Например, в секторе с номером $K_c = 15$ при $C = 7$ и $m = 3$ должны быть использованы каналы 15, 36, 57, 78

3. Системные помехи абонентской станции – это помехи от абонентских и базовых станций других сот соседних кластерных групп. Первый способ снижения системных помех – построение ССПР в соответствии с их территориально-частотной организацией, когда базовые станции с одинаковыми наборами частот разнесены территориально (находятся не в соседних сотах). Этот разнос определяют (см. рис. 37) такими параметрами: защитный интервал $D = R\sqrt{3C}$ и защитный коэффициент $q = D/R = \sqrt{3C}$. Например, параметр q имеет значения 3; 3,46

и 4,58 для трех-, четырех- и семиэлементного кластера, т. е. увеличивается с ростом размерности кластера. Однако с ростом размера кластера увеличивается и полоса частот $F_c = FTS$, используемых ССПР.

Второй способ снижения уровня системных помех – использование направленных

секторных антенных систем с узкими диаграммами направленности антенн секторов, при этом антенны секторов с одинаковыми наборами частот должны быть направлены в одну и ту же сторону. В этом случае

$$F_c = FNCT_{\text{сект}},$$

где N – количество секторов;

$T_{\text{сект}}$ – количество частотных каналов в одном секторе.

Способ повторного использования частот в организованных таким образом сотах основан на применении трехсекторных антенных систем для каждой базовой станции и трех соседних базовых станций с формированием девяти групп частот (рис. 38).

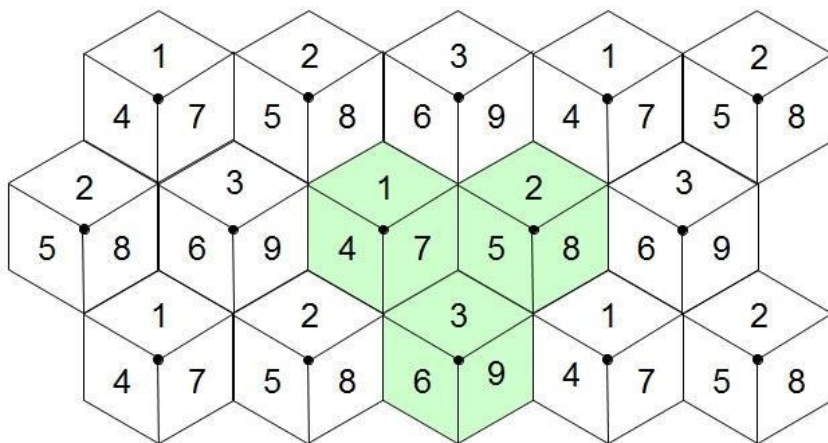


Рис. 38. Способ повторного использования частот

Антенны с шириной диаграммы направленности 120° ; размерности кластера $C = 3$; количества секторов $N = 3$; количества частот одной соты $T = NT_{\text{сект}} = 3T_{\text{сект}}$. В этом случае при минимальном количестве $T_{\text{сект}} = 1$ каналов в одном секторе ширина полосы $F_c = F_{c\text{min}} = 9F$ ССПР в три раза больше, чем при использовании всенаправленных антенн (см. рис. 37).

Применение многосекторных антенн (см. рис. 38) показывает, что обеспечиваемое при этом снижение уровня системных помех достигается вследствие расширения полосы рабочих частот ССПР.

Таким образом, все уже известные способы борьбы с обнаруженными системными помехами приводят к расширению диапазона частот, занимаемого ССПР.

4. Вопрос о безопасности использования средств ССПР – актуальный, так как радиоизлучения этих радиосистем влияют на здоровье их пользователей и на другие радиотехнические системы и устройства.

Осторожность при пользовании средствами радиосвязи необходима в ситуациях, когда, например, излучение радиотелефона может нарушать работу электрокардиостимуляторов и слуховых аппаратов, кардиографов и энцефалографов. Сотовым телефоном нельзя пользоваться в самолетах, в местах проведения взрывных работ и т. д.

Однако под биологической безопасностью средств связи подразумевают в первую очередь влияние электромагнитного излучения телефона на организм здорового человека, так как зачастую радиопередатчик работает непосредственно около уха в нескольких сантиметрах от головного мозга. Обычно нормы безопасности устанавливают предел для плотности потока мощности (ППМ, Вт/см² или мВт/см²) или для коэффициента удельного поглощения (Specific Absorption Rate – SAR, Вт/кг или мВт/г). SAR – это мощность электромагнитного поля, поглощаемого или рассеиваемого единицей массы ткани тела.

Таблица 1

Значения SAR для ССПР

Страна или регион (стандарт)	SAR, мВт/г, в области пространственного максимума
США (ANSI/IEEE C95.1-1992)	1,6 (за 30 мин., 300–3000 МГц)

Западная Европа (ENVSO 166-2.1995) Япония	2 (за 6 мин., 300–6000 МГц) 8 (за 6 мин., все радиочастоты)
---	--

Из приведенной таблицы следует достаточное соответствие стандартов SAR ведущих в области ССПР стран мира.

SAR оценивают в НИИ и соответствующих службах охраны труда с помощью моделей тела человека – математических и физических. Эти модели достаточно детально воспроизводят тело человека с учетом составляющих его тканей (мышц, костей, мозга, крови, печени и т. п.) и характерных их параметров (диэлектрической проницаемости, проводимости).

При использовании математической модели SAR оценивают расчетным путем, в результате чего получается картина пространственного распределения SAR, по которой находят участки с максимумами, а также среднее значение SAR для тела в целом.

В физической модели, создаваемой из материалов с определенными характеристиками и воспроизводящей тело человека или его часть в натуральную величину, напряженность электрического поля измеряют в малой полости, которую создают в выбранном месте модели и куда помещают датчик измерительного прибора. В таких экспериментах применяют реальные абонентские аппараты,

работающие в обычном режиме и размещаемые в нужном ракурсе непосредственно около уха модели.

В настоящее время имеющиеся данные позволяют утверждать, что радиосредства ССПР практически безопасны для здоровья человека. Это подтверждают следующие обстоятельства:

- за все годы эксплуатации сотовой связи в Америке, Японии, Европе и других регионах не зарегистрировано юридически ни одного случая ущерба здоровью, связанного с использованием сотовых телефонов;
- результаты специальных исследований показывают, что излучения современных серийно выпускаемых радиотелефонов на один-три порядка меньше допустимых норм безопасности этих излучений.

5. GSM (от названия группы Groupe Spécial Mobile, позже переименован в Global System for Mobile Communications) (русс. СПС-900) – глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи с разделением каналов по времени (TDMA) и частоте (FDMA). Разработан под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) в конце 1980-х гг.

GSM относится к сетям второго поколения (2 Generation) (1G – аналоговая сотовая связь, 2G – цифровая сотовая связь, 3G – широкополосная цифровая сотовая связь, коммутируемая многоцелевыми компьютерными сетями, в том числе Интернет). Мобильные телефоны выпускаются с поддержкой четырех частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц.

Выделим основные преимущества стандарта GSM:

– меньшие, по сравнению с аналоговыми стандартами (NMT-450, AMPS-800), размеры и вес телефонных аппаратов при большем времени работы без подзарядки аккумулятора. Это достигается в основном за счёт аппаратуры базовой станции, которая постоянно анализирует уровень сигнала,

принимаемого от аппарата абонента. В тех случаях, когда он выше требуемого, на сотовый телефон автоматически подаётся команда снизить излучаемую мощность;

- хорошее качество связи при достаточной плотности размещения базовых станций;
- большая ёмкость сети, возможность большого числа одновременных соединений;
- низкий уровень промышленных помех в данных частотных диапазонах;
- улучшенная (по сравнению с аналоговыми системами) защита от подслушивания и нелегального использования, что достигается путём применения алгоритмов шифрования с разделяемым ключом;
- эффективное кодирование (сжатие) речи. EFR- технология была разработана фирмой Nokia и впоследствии стала промышленным стандартом кодирования/декодирования для технологии GSM (см. GSM-FR, GSM-HR и GSM-EFR);
- широкое распространение, особенно в Европе, большой выбор оборудования;

– возможность роуминга. Это означает, что абонент одной из сетей GSM может пользоваться сотовым телефонным номером не только у себя «дома», но и перемещаться по всему миру, переходя из одной сети в другую, не расставаясь со своим абонентским номером. Процесс перехода из сети в сеть происходит автоматически, и пользователю телефона GSM нет необходимости заранее уведомлять оператора (в сетях некоторых операторов могут действовать ограничения на предоставление роуминга своим абонентам, более детальную информацию можно получить, обратившись непосредственно к своему GSM-оператору).

Однако, как и любая другая ССПР, GSM имеет свои недостатки:

- искажение речи при цифровой обработке и передаче;
- связь возможна на расстоянии не более 120 км от ближайшей базовой станции даже при использовании

усилителей и направленных антенн. Поэтому для покрытия определённой площади необходимо большее количество передатчиков, чем в NMT-450 и AMPS.

GSM-900 – цифровой стандарт мобильной связи в диапазоне частот от 890 до 915 МГц (от телефона к базовой станции) и от 935 до 960 МГц (от базовой станции к телефону). Количество реальных каналов связи гораздо больше, чем написано выше в табл. 1, так как присутствует еще и временное разделение каналов TDMA, т. е. на одной и той же частоте могут работать несколько абонентов с разделением во времени.

В некоторых странах диапазон частот GSM-900 был расширен до 880–915 МГц (MS → BTS) и 925–960 МГц (MS ← BTS), благодаря чему максимальное количество каналов связи увеличилось на 50. Такая модификация была названа E-GSM (extended GSM).

GSM-1800 – модификация стандарта GSM-900, цифровой стандарт мобильной связи в диапазоне частот от 1710 до 1880 МГц. Выделим главные особенности модифицированной ССПР:

- максимальная излучаемая мощность мобильных телефонов стандарта GSM-1800 – 1 Вт, для сравнения у GSM-900 – 2 Вт. Больше время непрерывной работы без подзарядки аккумулятора и снижение уровня радиоизлучения;
- высокая ёмкость сети, что важно для крупных городов;
- возможность использования телефонных аппаратов; работающих в стандартах GSM-900 и GSM-1800 одновременно. Такой аппарат функционирует в сети GSM-900, но, попадая в зону GSM-1800, переключается – вручную или автоматически. Это позволяет оператору рациональнее использовать частотный ресурс, а клиентам – экономить деньги за счёт низких тарифов. В обеих сетях абонент пользуется одним номером. Но использование аппарата в двух сетях возможно только в тех случаях, когда эти сети принадлежат одной компании или между компаниями, работающими в разных диапазонах, заключено соглашение о роуминге.

Дальность связи в GSM лимитирована задержкой сигнала Timing advance и составляет до 35 км. При использовании режима extended cell возрастает до 75 км.

Таблица 2
GSM 900/1800 МГц (Европа, Азия)

Характеристики	GSM-900	GSM-1800
Частоты передачи MS и приёма BTS (uplink), МГц	890–915	1710–1785
Частоты приёма MS и передачи BTS (downlink), МГц	935–960	1805–1880
Дуплексный разнос частот приёма и передачи, МГц	45	95
Количество частотных каналов связи с шириной 1 канала связи в 200 кГц	124	374
Ширина полосы канала связи, кГц	200	200

GSM 850/1900 МГц (США, Канада,
Латинская Америка и Африка)

Характеристики	GSM-850	GSM-1900
Частоты передачи и приёма BTS, МГц	824–849	1850–1910
Частоты приёма и передачи BTS, МГц	869–894	1930–1990
Дуплексный разнос частот приёма и передачи, МГц	45	80

6. Система GSM состоит из трёх основных подсистем (рис. 39):
- подсистемы базовых станций (BSS – Base Station Subsystem);
 - подсистемы коммутации (NSS – Network Switching Subsystem);
 - центра технического обслуживания (OMC – Operation and Maintenance Centre).

В отдельный класс оборудования GSM выделены терминальные устройства – подвижные станции (MS – Mobile Station), также известные как мобильные (сотовые) телефоны.

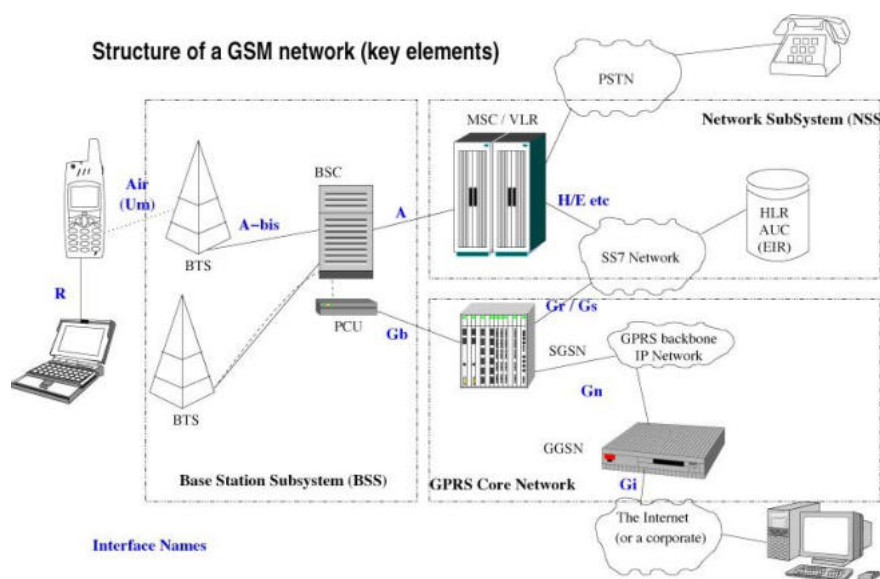


Рис. 39. Структурная схема системы сотовой связи GSM

Подсистема базовых станций

BSS состоит из собственно базовых станций (BTS – Base Transceiver Station) и контроллеров базовых станций (BSC — Base Station Controller). Область, покрываемая сетью GSM, разбита на условные шестиугольники, называемые сотами,

или ячейками. Диаметр каждой шестиугольной ячейки может быть разным – от 400 м до 50 км. Максимальный теоретический радиус ячейки составляет 120 км, что обусловлено ограниченной возможностью системы синхронизации к компенсации времени задержки сигнала. Каждая ячейка покрывается находящейся в её центре одной базовой станцией, при этом ячейки частично перекрывают друг друга, таким образом сохраняется возможность передачи обслуживания без разрыва соединения при перемещении абонента из одной соты в другую.

Естественно, что на самом деле сигнал от каждой станции распространяется, покрывая площадь в виде круга, а не шестиугольника, последний же является лишь упрощением представления зоны покрытия. Каждая базовая станция имеет шесть соседних в связи с тем, что в задачи планирования размещения станций входила минимизация стоимости системы. Меньшее количество соседних базовых станций приводило бы к большему перехлёсту зон покрытия с целью избегания «мёртвых зон», что в свою очередь потребовало бы более плотного расположения базовых станций. Больше количество соседних базовых станций приводило бы к излишним расходам на дополнительные станции, в то время как выигрыш от уменьшения зон перехлёста был бы уже весьма незначительным.

Базовая станция (BTS) обеспечивает приём/передачу сигнала между MS и контроллером базовых станций. BTS является автономной и строится по модульному принципу. Направленные антенны базовых станций могут располагаться на вышках, крышах зданий и т. д.

Контроллер базовых станций (BSC) координирует соединения между BTS и подсистемой коммутации. В его полномочия также входит управление очередностью соединений, скоростью передачи данных, распределение радиоканалов, сбор статистики, контроль различных радиоизмерений, назначение и управление процедурой Handover.

Подсистема коммутации

Приведем перечень компонентов, входящих в состав NSS, и опишем далее подробно каждый из них.

Центр коммутации (MSC – Mobile Switching Center) контролирует определённую географическую зону с расположенными на ней BTS и BSC. Осуществляет установку соединения к абоненту и от него внутри сети GSM, обеспечивает интерфейс между GSM и ТфОП, другими сетями радиосвязи, сетями передачи данных. Также выполняет функции маршрутизации вызовов, управления вызовами, эстафетной передачи обслуживания при перемещении MS из одной ячейки в другую. После завершения вызова MSC обрабатывает данные по нему и передаёт их в центр расчётов для формирования счета за предоставленные услуги, собирает статистические данные. MSC также постоянно следит за положением MS, используя данные из HLR и VLR, что необходимо для быстрого нахождения и установления соединения с MS в случае её вызова.

Домашний регистр местоположения (HLR – Home Location Registry) содержит базу данных абонентов, приписанных к нему. Здесь имеется информация о предоставляемых данному абоненту услугах, сведения о состоянии каждого абонента, необходимые в случае его вызова, а также Международный Идентификатор Мобильного Абонента (IMSI – International Mobile Subscriber Identity), который используется для аутентификации абонента (при помощи AUC). Каждый абонент приписан к одному HLR. К данным HLR имеют доступ все MSC и VLR в данной GSM-сети, а в случае межсетевых роуминга – и MSC других сетей.

Гостевой регистр местоположения (VLR – Visitor Location Registry) обеспечивает мониторинг передвижения MS

из одной зоны в другую и содержит базу данных о перемещающихся абонентах, находящихся в данный момент в этой зоне, в том числе абонентах других систем GSM – так называемых роумерах. Данные об абоненте удаляются из VLR в том случае, если абонент переместился в другую зону. Такая схема позволяет сократить количество запросов на HLR данного абонента и, следовательно, время обслуживания вызова.

Регистр идентификации оборудования (EIR – Equipment Identification Registry) содержит базу данных, необходимую для установления подлинности MS по IMEI (International Mobile Equipment Identity). Формирует три списка: белый (MS, допущенные к использованию), серый (некоторые проблемы с идентификацией MS) и чёрный (MS, запрещённые к применению). У российских операторов (и большей части операторов стран СНГ) используются только белые списки, что не позволяет раз и навсегда решить проблему кражи мобильных телефонов.

Центр аутентификации (AUC – Authentication Center) – здесь производится аутентификация абонента, а точнее – SIM (Subscriber Identity Module). Доступ к сети разрешается только после прохождения SIM процедуры проверки подлинности, в процессе которой с AUC на MS приходит случайное число RAND, после чего на AUC и MS параллельно происходит шифрование числа RAND ключом Ki для данной SIM при помощи специального алгоритма. Затем с MS и AUC на MSC возвращаются «подписанные отклики» – SRES (Signed Response), являющиеся результатом данного шифрования. На MSC отклики сравниваются, и в случае их совпадения аутентификация считается успешной.

Подсистема OMC (Operations and Maintenance Center) соединена с остальными компонентами сети и обеспечивает контроль качества работы и управление всей сетью. Обработывает аварийные сигналы, при которых требуется вмешательство персонала. Обеспечивает проверку состояния сети, возможность прохождения вызова. Производит обновление программного обеспечения на всех элементах сети и ряд других

функций.

7. Приведем основные характеристики радиосигнала стандарта GSM:

- частоты передачи подвижной станции приема базовой станции: 890–915 МГц;
- частоты приема подвижной станции и передачи базовой станции: 935–960 МГц;
- дуплексный разнос частот приема и передачи – 45 МГц;
- скорость передачи сообщений в радиоканале – 270, 833 кбит/с;
- скорость преобразования речевого кодека – 13 кбит/с;
- ширина полосы канала связи – 200 кГц;
- максимальное количество каналов связи – 124;
- максимальное количество каналов, организуемых в базовой станции – 16-20;
- вид модуляции – GMSK;
- индекс модуляции $V_T = 0,3$;
- ширина полосы предмодуляционного гауссовского фильтра – 81,2 кГц;
- количество скачков по частоте в секунду – 217;
- временное разнесение в интервалах TDMA кадра (передача/прием) для подвижной станции – 2;
- вид речевого кодека RPE/LTP;
- максимальный радиус соты – до 35 км;
- схема организации каналов комбинированная TDMA/FDMA.

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) – это гауссовская двухпозиционная частотная манипуляция с минимальным сдвигом, обладающая двумя особенностями, одна из которых – «минимальный сдвиг», другая – гауссовская фильтрация. Обе особенности направлены на сужение полосы частот, занимаемой GMSK-сигналом. Использование GMSK в системе сотовой радиосвязи GSM регламентируется стандартом ETSI (Европейский институт стандартов связи).

Следует отметить ряд важных ее преимуществ:

- достаточно высокая спектральная эффективность (эффективность использования полосы частот), равная: $270,833 / 200 = 1,354$ (бит/с) / Гц, обусловленная использованием ГФНЧ с $V_T = 0,3$;
- низкий уровень помех по соседним частотным каналам; приемлемая для практики помехоустойчивость: вероятность ошибки на бит P_c а 10^{-3} при отношении несущая/шум $C/N = 30$ дБ;
- возможность использования когерентной и некогерентной демодуляции;
- высокий коэффициент полезного действия усилителя мощности передатчика (благодаря использованию нелинейного усилителя НЛЮ).

Сужения полосы занимаемых частот удалось достигнуть за счет предварительной фильтрации модулирующего сигнала фильтром низкой частоты с гауссовской импульсной характеристикой. Ширина спектра сигнала GMSK определяется произведением длительности передаваемого символа на полосу пропускания гауссовского фильтра V_T . Именно полосой пропускания V и отличаются различные виды GMSK друг от друга.

Форма этого сигнала определяется напряжением на выходе гауссовского фильтра, а значение девиации – индексом модуляции m . Для GMSK индекс модуляции $m = 0,5$. Соответственно, для выбранной в качестве примера скорости передачи 19,2 кБод девиация частоты будет равна $\pm 4,8$ кГц. Частота передачи нуля в этом сигнале будет отличаться от частоты передачи единицы на 9,6 кГц – в два раза меньше скорости передачи символов.

Чем меньше полоса пропускания гауссовского фильтра, тем уже полоса радиосигнала, но при этом возрастают межсимвольные искажения в GMSK радиосигнале.

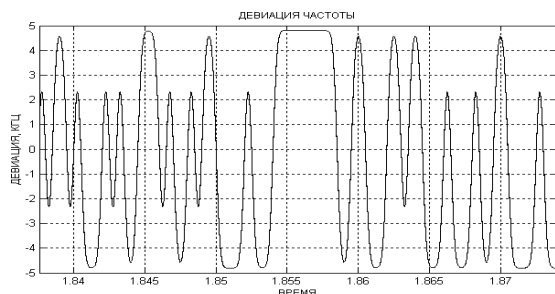


Рис. 40. Девиация частоты сигнала GMSK с $B_T = 0,3$

На рис. 40 отчетливо видно, что девиации 4,8 кГц сигнал GMSK достигает только при передаче не менее трех одинаковых символов. При передаче последовательности нулей и единиц девиация сигнала не успевает достигнуть номинального значения. На приведенном графике видно, что девиация в этом случае получается чуть больше 2 кГц. При передаче двух нулей или двух единиц девиация только немного не достигает значения 4,8 кГц.

Межсимвольные искажения обычно устраняются эквалайзером или сверточным декодером на приемном конце радиотракта. Преимуществом использования GMSK модуляции является постоянный уровень радиосигнала, что позволяет использовать в радиопередатчике нелинейный усилитель мощности.

Спектр сигнала GMSK приведен на рис. 41. Для сравнения на этом же рисунке приведены спектры сигналов частотной модуляции с минимальным разносом частот MSK и четырехпозиционной фазовой модуляции. Спектр четырехпозиционной фазовой модуляции показан для случая, когда исходный модулирующий сигнал не подвергался предварительной обработке фильтром Найквиста.

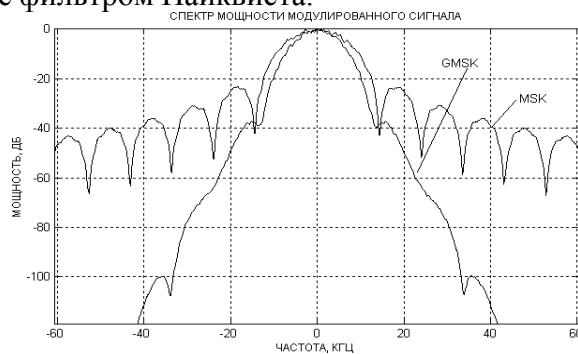


Рис. 41. График спектра модуляции GMSK в сравнении со спектром частотной модуляции с минимальным сдвигом частот MSK

К сожалению, в точках взятия отсчетов сигнал GMSK зависит от предыдущих значений передаваемого сигнала. Это вызвано действием гауссовского фильтра, формирующего спектр сигнала GMSK. В результате помехоустойчивость сигнала GMSK ниже по сравнению даже с помехоустойчивостью сигнала MSK. Конкретное значение помехоустойчивости сигналов GMSK сильно зависит от произведения B_T .

При исследовании и анализе GMSK сигнала в системе сотовой связи GSM на практике он выглядит в виде осциллограммы мощности (рис. 42).

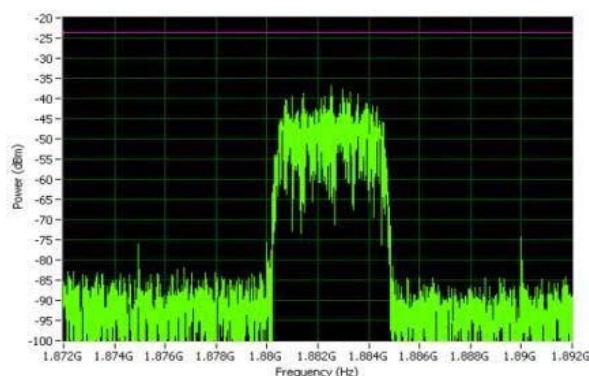


Рис. 42. График осциллограммы сигнала GMSK в GSM

8. Каналы связи разделяют на физические и логические. В стандарте GSM данные группируются и объединяются в логические каналы двух типов – каналы связи TCH (Traffic Channel) для передачи речи или данных и каналы управления CCH (Control Channel) для передачи сигналов управления.

Различают логические каналы связи двух основных видов:

- 1) TCH/F (Traffic Channel Full) – канал передачи сообщений с полной скоростью (другое обозначение – B_m);
- 2) TCH/H (Traffic Channel Half) – канал передачи сообщений с половинной скоростью

(другое обозначение – Lm).

Для передачи кодированной речи и данных предназначены каналы связи следующих типов:

- TCH/FS (Traffic Channel Full Speech) – канал для передачи речи с полной скоростью;
- TCH/HS (Traffic Channel Half Speech) – канал для передачи речи с половинной скоростью;
- TCH/F9,6 (Traffic Channel Full 9,6 кбит/с) – канал передачи данных с полной скоростью 9,6 кбит/с;
- TCH/F4,8 (Traffic Channel Full 4,8 кбит/с) – канал передачи данных с полной скоростью 4,8 кбит/с;
- TCH/F2,4 (Traffic Channel Full 2,4 кбит/с) – канал передачи данных с полной скоростью 2,4 кбит/с;
- TCH/H4,8 (Traffic Channel Half 4,8 кбит/с) – канал передачи данных с половинной скоростью 4,8 кбит/с;
- TCH/H2,4 (Traffic Channel Half 2,4 кбит/с) – канал передачи данных с половинной скоростью 2,4 кбит/с.

Различают четыре вида каналов управления:

- 1) BCCH (Broadcast Control Channel) – широковещательные каналы передачи сигналов управления;
- 2) CCCH (Common Control Channel) – общие каналы управления;
- 3) SDCCCH (Standalone Dedicated Control Channel) – индивидуальные, или выделенные, закрепленные каналы управления;
- 4) ACCH (Associated Control Channel) – совмещенные каналы управления.

Физические каналы характеризуются частотными, энергетическими, временными и другими показателями.

Мощность базовой станции может достигать 55 Вт, при удалении на 10 м плотность потока мощности (ППМ) не превышает допустимую ППМ = 1 мкВт/см².

В ССПР GSM применяют абонентские станции первого- пятого классов с выходной мощностью 20, 8, 5, 2, 0,8 Вт. Станции первого-третьего классов устанавливаются на транспортных средствах, а четвертого и пятого – представляют собой носимые модели.

В стандарте GSM восемь физических каналов для передачи трафика и управления, реализованных в восьми временных окнах (слотах) TDMA-кадра. При этом каждый физический канал использует одно и то же временное окно в каждом временном TDMA-кадре. Кадры TDMA объединяются в мультикадры. Для одного физического канала трафика TCH или сигнализации SACCH в каждом TDMA- кадре используют 114 битов (два пакета ED, содержащие 57 + 57 битов). Длительность мультикадра – 120 мс.

Полная скорость передачи данных в объединенном TCH + SACCH канале в обоих случаях составляет $22,8 + 0,950 + 0,950 = 24,7$ кбит/с (для полускоростной и полноскоростной передачи данных).

В стандарте GSM используют медленные скачки по частоте SFH (Slow Frequency Hopping, 277 скачков в секунду), назначение которых – повышение качества связи в радиоканалах, функционирующих в условиях многолучевого распространения радиоволн, а также эффективности кодирования.

9. Заслушав сообщение Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций об использовании радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы полос радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц, Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ) отмечает.

В настоящее время использование радиоэлектронных средств стандарта GSM в полосах радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц осуществляется на основании отдельных решений ГКРЧ, выданных операторам связи. При этом указанные решения ГКРЧ имеют различный срок использования полос радиочастот (в том числе и не установленный), а также условия их использования.

Кроме того, большое количество данных отдельных решений ГКРЧ затрудняет процедуру контроля выполнения условий использования полос радиочастот и в целом приводит к значительным трудностям в регулировании использования радиочастотного ресурса в полосах

радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц.

С целью унификации условий использования полос радиочастот для применения РЭС стандарта GSM, а также для упрощения процедуры контроля использования радиочастотного ресурса в указанных полосах радиочастот ГКРЧ решила:

1. Выделить полосы радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц для применения РЭС сухопутной подвижной радиосвязи стандарта GSM операторами связи на территории субъектов Российской Федерации в соответствии с приложениями № 1 и № 2 к настоящему решению ГКРЧ.

2. Использование выделенных пунктом 1 настоящего решения ГКРЧ полос радиочастот должно осуществляться при выполнении следующих условий:

– соответствие технических характеристик РЭС основным техническим характеристикам, указанным в приложении № 3 к настоящему решению ГКРЧ;

– получение в установленном в Российской Федерации порядке разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов;

– выполнение условий по оказанию услуг связи, установленных решением ГКРЧ от 11 декабря 2013 г. № 13- 22-01;

– регистрация РЭС в установленном в Российской Федерации порядке.

3. Выделить гражданам Российской Федерации и российским юридическим лицам полосы радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц для разработки, производства и модернизации РЭС стандарта GSM при условии, что основные технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РЭС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в приложении № 3 к настоящему решению ГКРЧ.

4. Использование полос радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц для применения РЭС стандартов UMTS, LTE и последующих их модификаций, в том числе при совместном использовании, в соответствии с решениями ГКРЧ от 11 декабря 2013 г. № 13- 22-02, от 22 июля 2014 г. № 14-26-07 и от 30 июня 2015 г.

№ 15-33-06-2 осуществляется на основании настоящего решения ГКРЧ и в соответствии с распределениями полос радиочастот на территории Российской Федерации, приведенными в приложениях № 1 и № 2 к настоящему решению ГКРЧ.

5. В соответствии с ранее принятыми решениями ГКРЧ установить, что доступный для оказания услуг связи радиочастотный спектр в полосах радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц ограничивает

возможное количество операторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта GSM на территории Российской Федерации. При этом минимально необходимый радиочастотный спектр для создания и развития сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта GSM на территории субъекта Российской Федерации или на территории административно-территориальных образований с особым статусом составляет два участка по 4,8 МГц в полосах радиочастот 890–915 МГц и 935–960 МГц или два участка по 10 МГц в полосах радиочастот 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц.

6. Признать утратившими силу решения ГКРЧ, указанные в приложении № 4 к настоящему решению ГКРЧ.

7. Операторы связи, имеющие соответствующие разрешительные документы на использование радиочастотного ресурса в полосах радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц

радиоэлектронными средствами стандарта GSM, UMTS, LTE и последующих его модификаций, полученные на основании решений ГКРЧ указанных в приложении № 4 к настоящему решению ГКРЧ, могут продолжать его использование на условиях, изложенных в указанных разрешительных документах, до окончания срока действия данных разрешительных документов, но не позднее 30 июня 2026 г.

8. Ввоз на территорию Российской Федерации РЭС должен осуществляться в установленном в Российской Федерации порядке.

9. Настоящее решение ГКРЧ вступает в силу с 1 августа 2016 г.

10. Установить срок действия настоящего решения ГКРЧ десять лет со дня его принятия.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Как происходит разделение обслуживаемой территории для организации на ней ССПР? Какие требования предъявляются к процессу?
2. Почему метод шестиугольника при разделении территории для ССПР является наиболее эффективным?
3. Как происходит частотное планирование в ССПР? Объясните данный процесс в общих чертах.
4. Какие способы распределения частотных каналов Вы знаете?
5. Что такое системные помехи в ССПР и как они возникают?
6. Какие способы борьбы с системными помехами в ССПР Вы знаете?
7. В чем заключается биологическая безопасность радиосредств ССПР? Что такое SAR?
8. Что такое GSM? Назовите основные его преимущества и недостатки.
9. Дайте сравнительную характеристику стандартам ССПР GSM-900 и GSM-1800. Какие дополнительные модификации стандарта GSM существуют и где используются?
10. Расскажите в общих чертах о структуре ССПР GSM.
11. Подсистема базовых станций – дайте подробное описание.
12. Подсистема коммутации – дайте подробное описание.
13. Назовите основные характеристики радиосигнала стандарта GSM.
14. Почему в стандарте ССПР GSM используется гауссовская двухпозиционная частотная манипуляция с минимальным сдвигом?
15. Расскажите подробно о физических каналах связи в стандарте ССПР GSM.
16. Расскажите подробно о логических каналах связи в стандарте ССПР GSM.
17. Какие полосы радиочастот для стандарта сотовой подвижной радиосвязи GSM выделены в Российской Федерации?
18. Какие условия должны выполняться оператором сети сотовой связи GSM при использовании выделенных полос радиочастот?

1.4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВЯЗИ, ПОКРЫТИЯ АБОНЕНТА БАЗОВЫМИ СТАНЦИЯМИ С ПОМОЩЬЮ КОММЕРЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ RTL-SDR

Ознакомимся и научимся работать с программой-сканером радиодиапазона RTL-SDR Scanner. С помощью данного программного обеспечения оценим загруженность радиодиапазона стандарта системы сотовой связи GSM.

Запустить исполняемый файл `Rtldsr scanner.exe` из каталога на CD диске `LR-SRS/2_SDR_GSM/Rtldsr scanner`, кликая по файлу правой кнопкой мыши и выбирая пункт «Запуск от имени администратора»:

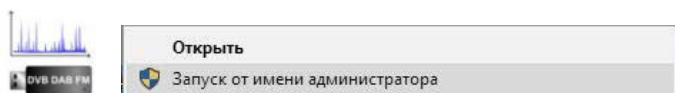


Рис. 43. Запуск программы RTL-SDR Scanner от имени администратора

При запуске откроется консольное окно поиска тюнера RTL-SDR R820T2, при успешном его обнаружении видим:



Рис. 44. Успешное обнаружение подключенного к программе RTL-SDR оборудования

После запуска программы видим основное рабочее окно с устройством:

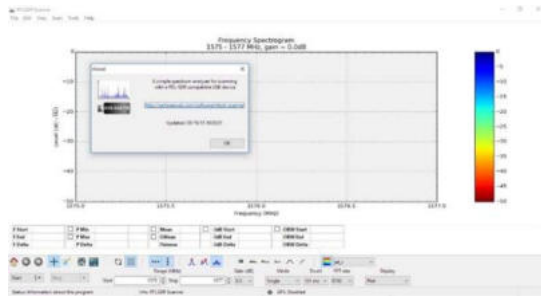


Рис. 45. Главное окно программы RTL-SDR Scanner

Проведем сканирование одного из диапазонов частот, предназначенного для системы сотовой связи GSM: 926 МГц – 960 МГц. В поле Start введем значение 926, в поле Stop – 960. Уровень усиления (Gain) – 25.4, поле Mode – Single, поле Dwell – 131 ms, поле FFT size – 2048. Результаты сканирования выведем в виде графика уровней сигналов, для этого в поле Display выберем режим Plot. После завершения настроек будущего процесса сканирования нажимаем кнопку Start. Процесс сканирования визуально отображается зеленым прогресс-баром в правом нижнем углу, общее время сканирования зависит от производительности аппаратной части ПК. В завершение видим полученный график уровней сигналов в заданном нами ранее диапазоне GSM:

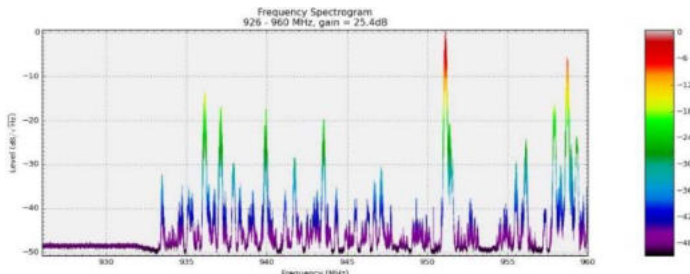


Рис. 46. Результаты сканирования и определения загруженности диапазона GSM-900 в программе RTL-SDR Scanner

Разберем подробнее возможности визуального представления загруженности диапазона частот GSM. Для этого в поле Display выберем режим Spectrogram:

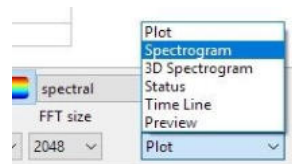


Рис. 47. Выбор режима показа спектрограммы

Пронаблюдаем представление уровней сигналов в виде спектрограммы:

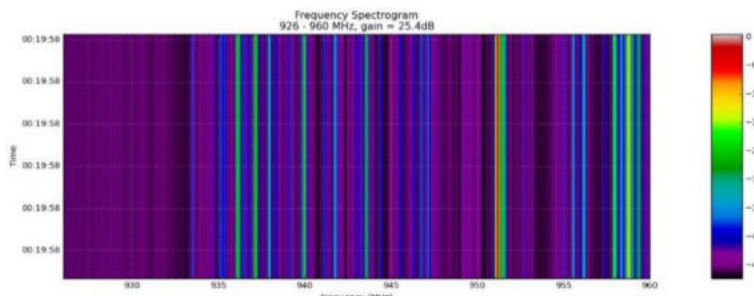


Рис. 48. Представление результатов сканирования диапазона GSM-900 в виде спектрограммы

Выберем другой режим представления загруженности диапазона частот GSM 3D Spectrogram и получим визуальное наблюдение в более объективном масштабе (после выбора данного режима некоторое время программа может не отвечать из-за трудоемкого процесса построения 3D спектрограммы):

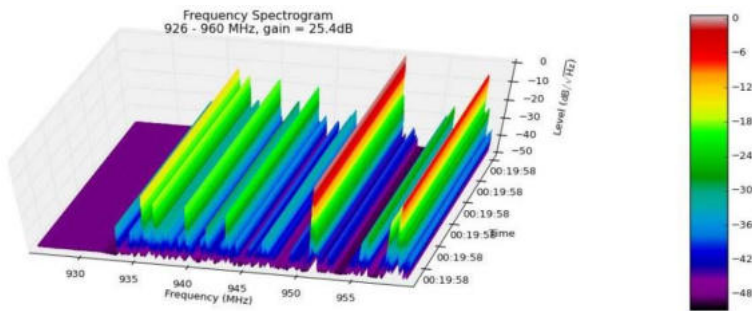


Рис. 49. Представление результатов сканирования диапазона GSM-900 в виде 3D спектрограммы

Освоим работу с программой RF DSP GSM SCANNER RTL-SDR для проверки диапазона частот работы базовых станций сотовых операторов (согласно «Решению Государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи России от 1 июля 2016 г. № 16-37-03 “Об использовании радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы полос радиочастот”»), технических параметров базовых станций, а также анализа покрытия соты для обеспечения качественной связи между абонентскими терминалами.

Запустить исполняемый файл `gmscan.exe` из каталога `LR-SRS/2_SDR_GSM/gmscan`, кликая по файлу правой кнопкой мыши и выбирая пункт «Запуск от имени администратора»:

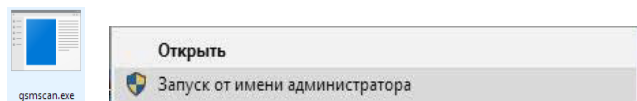


Рис. 50. Запуск программы RF DSP GSM SCANNER RTL-SDR от имени администратора

После запуска программы видим основное рабочее окно сканирования и обнаружения принадлежности базовых станций к сотовым операторам (рис. 51). Процесс сканирования в реальном времени запускается автоматически:

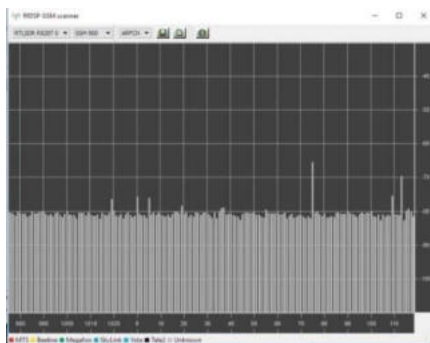


Рис. 51. Главное окно программы

Переключитесь из канального режима обзора работы базовых станций в частотный:



Рис. 52. Переключение в режим отображения источников по частотам

Проведем мониторинг БС в заданной полосе частот ССПР GSM-900, а также проидентифицируем каждый источник по принадлежности его к определенному оператору предоставления услуг сотовой связи. Процесс наиболее полного сканирования и анализа базовых станций занимает около 5 мин. По истечении указанного времени работы программы получаем наиболее достоверные результаты:

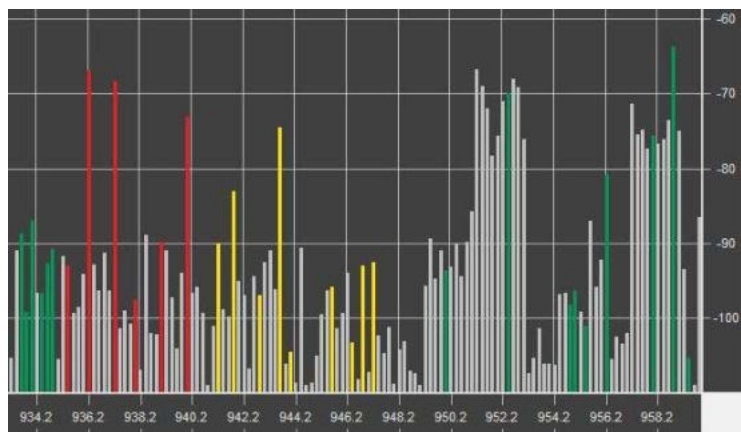


Рис. 53. Идентификация радиосигналов ССПР GSM-900 в нисходящем канале

Исходя из полученных результатов, видим, что зеленым цветом в программе обозначены БС, принадлежащие оператору сотовой связи ПАО «МегаФон», желтым – ПАО «ВымпелКом» (Билайн) и красным цветом – ПАО «МТС». Идентифицировать БС остальных операторов не удалось по причине возможного отсутствия сигнала в пределах местонахождения абонентского терминала. Для примера отметим, что БС «Мегафона» работают на частотах 933–935 МГц, а также 950 МГц, 952 МГц, 955 МГц и 958–959 МГц. В процессе выполнения лабораторных исследований у каждого студента, в зависимости от его местоположения, результаты могут отличаться.

Теперь проанализируем качество связи абонентского терминала (в данном случае его эмулирует наш RTL-SDR) с БС операторов сотовой связи. Найдем в окне сканера БС с самым сильным сигналом от каждого оператора и вычислим общее количество БС от каждого оператора сотовой связи, а также сравним качество связи между «большой тройкой» в пределах местонахождения студента. Для примера возьмем оператора ПАО «МТС»: общее количество БС в зоне

равняется 6 с самым сильным сигналом примерно -67 дБм и -68 дБм. В сравнении с БС от ПАО «МегаФон» с самым сигналом примерно одинаковой мощности, как и у МТС, у второго в зоне местоположения абонента количество БС на порядок выше – 15.

Программа имеет возможность сохранения полученных результатов сканирования в виде технических параметров каждой достоверно определенной БС. Сохраним полученные нами результаты в отчетный txt файл по нажатию кнопки SaveReport. Файл отчетности автоматически появляется в папке с программой под определенным именем, например GSM_scan_20_апр_2018_21_47_12.

При открытии файла с помощью встроенной в ОС Windows стандартной утилиты «Блокнот» получаем следующие технические данные обо всех успешно идентифицированных БС российских операторов ССПР GSM-900 в северной части г. Воронежа (представлен фрагмент на рис. 54) В дальнейшем, на основании представленных данных, имеется возможность легко определить местоположение каждой БС с помощью специальных навигационных программ.

ARFCN	MHz	dBm	MCC	MNC	LAC	CI	Type	BCCH
1017	933.6	-82.4	250	2	3601	40171	BCCH+TCH	
1018	933.8	-104.2	250	2	3601	40171	TCH only	1017
1019	934.0	-104.1	---	---	-----	-----		

Рис. 54. Итоговый файл отчета идентификации базовых станций ССПР GSM-900

1.5. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1. Изучить стандарт системы сотовой связи GSM:

- общие сведения;
- предоставляемые услуги;
- преимущества и недостатки;

- стандарты и радиоинтерфейс;
- структура GSM.

2. Изучить «Решение Государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи России от 1 июля 2016 г.

№ 16-37-03 “Об использовании радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы полос радиочастот 890–915 МГц, 935–960 МГц, 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц”» для получения сведений об используемых диапазонах частот в системе сотовой связи GSM на территории Российской Федерации, а также по Воронежской области.

Для выполнения домашнего задания в первую очередь проработайте теоретический материал по структуре системы сотовой связи стандарта GSM и его радиоинтерфейс. Обратите особое внимание на взаимодействие всех составляющих в ССПР GSM.

1.6. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с лабораторной установкой на базе коммерческой платформы RTL-SDR, его антенной системой и необходимым программным обеспечением, входящим в состав лабораторной установки.

2. Подготовить лабораторную установку к работе, проверить комплектность лабораторного стенда.

3. Подключить все части лабораторного стенда, подключить ППУ RTL-SDR к ПК (ноутбуку).

4. Проверить подачу питания на лабораторную установку (индикатор питания RTL-SDR должен гореть ярким белым светом).

5. Выполнить установку драйвера в ОС Windows для лабораторной установки, если на используемом для лабораторных исследований ПК он ранее не был установлен.

6. Запустить программное обеспечение сканера радиодиапазона RTL-SDR Scanner, провести оценку загруженности радиодиапазона стандарта системы сотовой связи GSM, сделать выводы о полученных результатах.

7. Запустить программное обеспечение анализатора ССПР GSM-900 и GSM-1800 RFDSP GSM Scanner, провести мониторинг и оценку качества связи, покрытия абонента базовыми станциями, сформировать выводы о полученных результатах исследований.

Отчёт о проделанной работе должен содержать:

- выполненное домашнее задание;
- результаты экспериментальных исследований;
- рисунки, поясняющие выполнение методики проведения мониторинга и оценки качества связи, покрытия абонента базовыми станциями с помощью коммерческой платформы RTL-SDR;
- подробные выводы по всем этапам исследований.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните принцип работы стандарта системы сотовой подвижной радиосвязи GSM.

2. Дайте сравнительную характеристику стандартам ССПР GSM-900 и GSM-1800. Какие дополнительные модификации стандарта GSM существуют и где используются?

3. Подсистема базовых станций – дайте подробное описание.

4. Подсистема коммутации – дайте подробное описание.

5. Какие полосы радиочастот для стандарта сотовой подвижной радиосвязи GSM выделены в Российской Федерации?

6. Как проводятся мониторинг и оценка качества связи, покрытия абонента базовыми станциями с помощью коммерческой платформы RTL-SDR?

7. Какую служебную информацию об обнаруженных базовых станциях можно извлечь из итогового отчета программы RFDSP GSM Scanner? Как Вы думаете, возможно ли определить местоположение каждой из них с помощью используемых сведений?

Вопросы для тестирования

1. В цифровых системах сотовой связи блоковое перемещение используется для:
 - Шифрования передаваемого сообщения;
 - Преобразования пакетов ошибок в одиночные ошибки;
 - Исправления возникающих ошибок;
 - Расширения спектра сигнала.
2. Один Эрл –это занятость телефонного канала в течение:
 - 1 минуты;
 - 1 часа;
 - 1 суток;
 - Времени наибольшей нагрузки.
3. Для передачи телефонного канала с полосой частот 4 КГц используется цифровой поток со скоростью передачи:
 - 8 Кбит/с;
 - 16 Кбит/с;
 - 32 Кбит/с;
 - 64 Кбит/с.
4. В стандарте DECT используется дуплексная связь с разделением по:
 - Частоте;
 - Времени;
 - Частоте и времени;
 - Форме сигнала.
5. В стандарте DECT для борьбы с быстрыми замираниями используются:
 - Динамический выбор канала;
 - Прием с разнесением по частоте;
 - Прием с разнесением по времени;
 - Прием с разнесением по пространству;
 - Все перечисленные методы.
6. В стандарте DECT для подключения к сетям стандарта GSM используется профиль:
 - GAP;
 - GIP;
 - CAP;
 - RAP.
7. В стандарте TETRA режим пакетной передачи обеспечивается:
 - Только в режиме прямой передачи;
 - Только в режиме транкинговой связи;
 - Как в режиме транкинговой связи, так и в режиме прямой передачи;
 - Только при работе через ретрансляторы.
8. В стандарте TETRA используется модуляция:
 - Дискретная FM;
 - QPSK;
 - GMSK;
 - QAM.
9. В стандарте GSM в одном частотном канале можно организовать независимые каналы с

временным разделением, число которых:

- 4;
- 8;
- 12;
- 16.

10. В стандарте GSM процедуру локализации абонентской станции начинает:

- Абонентская станция;
- Базовая станция;
- Контроллер базовых станций;
- Центр коммутации подвижной связи.

11. В стандарте GSM вырабатывает решение о начале процесса шифрации сообщения:

- Абонентская станция;
- Базовая станция;
- Контроллер базовых станций;
- Центр коммутации подвижной связи.

12. В стандарте GSM процедуру локализации абонентской станции начинает:

- Абонентская станция;
- Базовая станция;
- Контроллер базовых станций;
- Центр коммутации подвижной связи.

13. В стандарте GSM программная перестройка рабочей частоты радиообмена между базовой и абонентской станциями используется для:

- Борьбы с многолучевостью при распространении сигнала;
- Шифрации сообщения;
- Повышения пропускной способности системы;
- Повышения спектральной эффективности системы связи.

14. В сотовых системах связи с кодовым разделением каналов стандарта IS-95 “короткий” код на основе M - последовательности с периодом 215 используется для:

- Расширения спектра сигнала;
- Шифрации сообщения;
- Повышения пропускной способности системы.
- Формирования адресной последовательности пилотного канала

15. В сотовых системах связи с кодовым разделением каналов стандарта IS-95 “длинный” код на основе M - последовательности с периодом 242 – 1 используется для:

- Расширения спектра сигнала;
- Передачи информации об индивидуальном номере абонента;
- Формирования адресной последовательности пилотного канала;
- Помехоустойчивого кодирования сигнала.

16. В прямом канале сотовых систем связи с кодовым разделением каналов стандарта IS-95 последовательности Уолша используется для:

- Расширения спектра сигнала и формирования адресов каналов;
- Передачи информации об индивидуальном номере абонента;
- Формирования адресной последовательности пилотного канала;
- Помехоустойчивого кодирования сигнала.

17. В обратном канале сотовых систем связи с кодовым разделением каналов стандарта IS-95 последовательности Уолша используются для:
- Расширения спектра сигнала и формирования адресов каналов;
 - Передачи информации об индивидуальном номере абонента;
 - Формирования адресной последовательности пилотного канала;
 - Помехоустойчивого кодирования сигнала.
18. Базовая станция, использующая технологию 1xEV-DO:
- Передает сигнал на полной мощности;
 - Регулирует мощность в зависимости от скорости передачи данных;
 - Управляет мощностью по сигналам АРМ;
 - Регулирует мощность в зависимости от числа абонентов.

Вопросы, выносимые на коллоквиум

Коллоквиум 1

1. Основные характеристики и классификация систем радиосвязи с подвижными объектами.
2. Классификация помех, воздействующих на системы и сети подвижной радиосвязи.
3. Многолучевое распространение и затухание сигналов в каналах подвижной радиосвязи.
4. Спектрально-эффективные методы цифровой модуляции сигналов, используемые в системах подвижной радиосвязи.
5. Эффективность систем подвижной радиосвязи. Разделение Обслуживаемой территории на соты. Автоматическое регулирование мощностей передатчиков. Динамическое распределение каналов.
6. Способы увеличения пропускной способности систем подвижной радиосвязи.
7. Основные принципы работы систем подвижной связи со сложными сигналами.
8. Преобразование и кодирование речи и данных в системах подвижной радиосвязи.
9. Дискретизация и восстановление речевых сигналов. Требования к кодерам и декодерам речи.
10. Принципы сжатия речевых сигналов.
11. Принципы прерывистой передачи речи. Оценка качества передачи речевого сигнала.
12. Кодирование и перемежение сигналов в системах подвижной связи.
13. Передача данных в сетях подвижной связи.
14. Классификация, принципы построения и состав оборудования сетей персонального радиовызова общего пользования.
15. Классификация и принципы построения систем транкинговой связи. Архитектура транкинговых систем.
16. Принципы построения, состав и технические характеристики систем транкинговой связи стандарта MPT-1327.
17. Принципы построения, состав и технические характеристики систем транкинговой связи стандарта TETRA.
18. Транкинговые системы связи стандарта TETRA. Радиоинтерфейс. Вид модуляции сигнала. Кодирование речи. Методы повышения помехоустойчивости связи.
19. Построение территориальных систем и сетей с сотовой структурой.
20. Территориально-частотное разделение каналов.
21. Алгоритмы многостанционного доступа.

Коллоквиум 2

1. Принципы построения, состав и технические характеристики систем сотовой связи стандарта GSM.
2. Организация физических и логических каналов связи в стандарте GSM.
3. Основные операции обслуживания абонентских станций в стандарте GSM.
4. Гауссовская частотная модуляция с минимальным сдвигом.

5. Пакетная передача данных в стандарте GSM. Технология GPRS.
6. Защита информации в системах сотовой связи стандарта GSM.
7. Принципы кодового разделения каналов. Общая характеристика стандарта IS-95.
8. Прямой канал связи. Принципы построения передающего устройства базовой станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
9. Принципы построения приемного устройства абонентской станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
10. Обратный канал связи. Принципы построения передающего устройства абонентской станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
11. Принципы построения приемного устройства базовой станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
12. Технические характеристики систем связи стандарта DECT. Сравнение DECT с другими технологиями беспроводной телефонии.
13. Эстафетная передача в DECT. Непрерывное динамическое распределение каналов. Методы борьбы с быстрыми замираниями сигналов.
14. Организация пикосотовой сети связи. Обеспечение безопасности связи в системах стандарта DECT. Прописка абонентских станций, аутентификация пользователя, абонентских и базовых станций.
15. Классификация, принципы построения, состав оборудования и характеристики систем спутниковой подвижной радиосвязи.
16. Основные требования к системам подвижной связи третьего поколения.
17. Выделение частот, выбор радиointерфейсов для систем подвижной связи третьего поколения.
18. Использование новых видов модуляции сигналов в системах подвижной связи третьего поколения.
19. Программа IMT-2000.
20. Переход GSM – EDGE.
21. Архитектура интегрированной сети UMTS и GSM.
22. Технологии UTRA-FDD и UTRA-TDD.
23. Основные характеристики стандарта CDMA-2000.
24. Технологии 1xEV-DO и 1xEV-DV.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам. В каждом билете 2 теоретических вопроса.

Перечень вопросов на экзамен

1. Основные характеристики и классификация систем радиосвязи с подвижными объектами.
2. Классификация помех, воздействующих на системы и сети подвижной радиосвязи.
3. Многолучевое распространение и затухание сигналов в каналах подвижной радиосвязи.
4. Спектрально-эффективные методы цифровой модуляции сигналов, используемые в системах подвижной радиосвязи.
5. Эффективность систем подвижной радиосвязи. Разделение обслуживаемой территории на соты. Автоматическое регулирование мощностей передатчиков. Динамическое распределение каналов.
6. Способы увеличения пропускной способности систем подвижной радиосвязи.
7. Основные принципы работы систем подвижной связи со сложными сигналами.
8. Преобразование и кодирование речи и данных в системах подвижной радиосвязи.
9. Дискретизация и восстановление речевых сигналов. Требования к кодерам и декодерам речи.
10. Принципы сжатия речевых сигналов.
11. Принципы прерывистой передачи речи. Оценка качества передачи речевого сигнала.
12. Кодирование и перемежение сигналов в системах подвижной связи.
13. Передача данных в сетях подвижной связи.
14. Классификация, принципы построения и состав оборудования сетей персонального

радиовызова общего пользования.

15. Классификация и принципы построения систем транкинговой связи. Архитектура транкинговых систем.
16. Принципы построения, состав и технические характеристики систем транкинговой связи стандарта MPT-1327.
17. Принципы построения, состав и технические характеристики систем транкинговой связи стандарта TETRA.
18. Транкинговые системы связи стандарта TETRA. Радиоинтерфейс. Вид модуляции сигнала. Кодирование речи. Методы повышения помехоустойчивости связи.
19. Построение территориальных систем и сетей с сотовой структурой.
20. Территориально-частотное разделение каналов.
21. Алгоритмы многостанционного доступа.
22. Принципы построения, состав и технические характеристики систем сотовой связи стандарта GSM.
23. Организация физических и логических каналов связи в стандарте GSM.
24. Основные операции обслуживания абонентских станций в стандарте GSM.
25. Гауссовская частотная модуляция с минимальным сдвигом.
26. Пакетная передача данных в стандарте GSM. Технология GPRS.
27. Защита информации в системах сотовой связи стандарта GSM.
28. Принципы кодового разделения каналов. Общая характеристика стандарта IS-95.
29. Прямой канал связи. Принципы построения передающего устройства базовой станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
30. Принципы построения приемного устройства абонентской станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
31. Обратный канал связи. Принципы построения передающего устройства абонентской станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
32. Принципы построения приемного устройства базовой станции системы радиосвязи с кодовым разделением каналов.
33. Технические характеристики систем связи стандарта DECT. Сравнение DECT с другими технологиями беспроводной телефонии.
34. Эстафетная передача в DECT. Непрерывное динамическое распределение каналов. Методы борьбы с быстрыми замираниями сигналов.
35. Организация пикосотовой сети связи. Обеспечение безопасности связи в системах стандарта DECT. Прописка абонентских станций, аутентификация пользователя, абонентских и базовых станций.
36. Классификация, принципы построения, состав оборудования и характеристики систем спутниковой подвижной радиосвязи.
37. Основные требования к системам подвижной связи третьего поколения.
38. Выделение частот, выбор радиоинтерфейсов для систем подвижной связи третьего поколения.
39. Использование новых видов модуляции сигналов в системах подвижной связи третьего поколения.
40. Программа IMT-2000.
41. Переход GSM – EDGE.
42. Архитектура интегрированной сети UMTS и GSM.
43. Технологии UTRA-FDD и UTRA-TDD.
44. Основные характеристики стандарта CDMA-2000.
45. Технологии 1xEV-DO и 1xEV-DV.