

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

***АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОСНОВНЫХ СТАНДАРТОВ
СОТОВОЙ СВЯЗИ***

Методические указания
к лабораторным занятиям по курсу
«Системы подвижной радиосвязи»
для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»
дневной и заочной форм обучения

Минск 2006

УДК 621.396.2 (075.8)
ББК 32.884.1 я 73
А 64

С о с т а в и т е л ь
В.А. Аксенов

А 64 **Анализ** спектральной эффективности основных стандартов сотовой связи: Метод. указ. к лаб. занятиям по курсу «Системы подвижной радиосвязи» для студ. спец. I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций» дневн. и заоч. форм обуч. / В.А. Аксёнов. – Мн.: БГУИР, 2006.– 16 с.: ил.

Описываются частотные планы и технические характеристики основных стандартов сотовой (транкинговой) связи поколений 1G, 2G, 2,5G и 3G. Приводятся методы сравнительной оценки эффективности использования спектра в этих стандартах.

УДК 621.396.2 (075.8)
ББК 32.884.1 я 73

© Аксенов В.А., составление, 2006
© БГУИР, 2006

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ СТАНДАРТОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение основных технических характеристик популярных стандартов подвижной радиосвязи и сравнение эффективности использования спектра этими стандартами.

1. ЧАСТОТНЫЕ ПЛАНЫ ОСНОВНЫХ СТАНДАРТОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Частотные планы – диапазоны частот, разбитые на радиоканалы, в которых разрешается работа средств подвижной радиосвязи. Частотные планы служат для стандартизации аппаратуры и утверждаются на международном уровне. Все радиоканалы плана доступны базовым станциям (БС) и абонентским станциям (АС) данного стандарта. Оператору сотовой связи выделяется в пользование лишь некоторое количество радиоканалов из плана. Разным операторам выделяются разные радиоканалы.

На рис.1.1 показан частотный план стандарта первого поколения (1G) сотовой связи NMT-450 (стрелками обозначены несущие частоты радиоканалов). План представляет собой две парные полосы шириной 4,5МГц с дуплексным разносом 10МГц. Полосы разбиты на радиоканалы шириной 25кГц. Нижняя полоса используется для передачи сигналов от АС к БС («вверх»), верхняя – от БС к АС («вниз»).

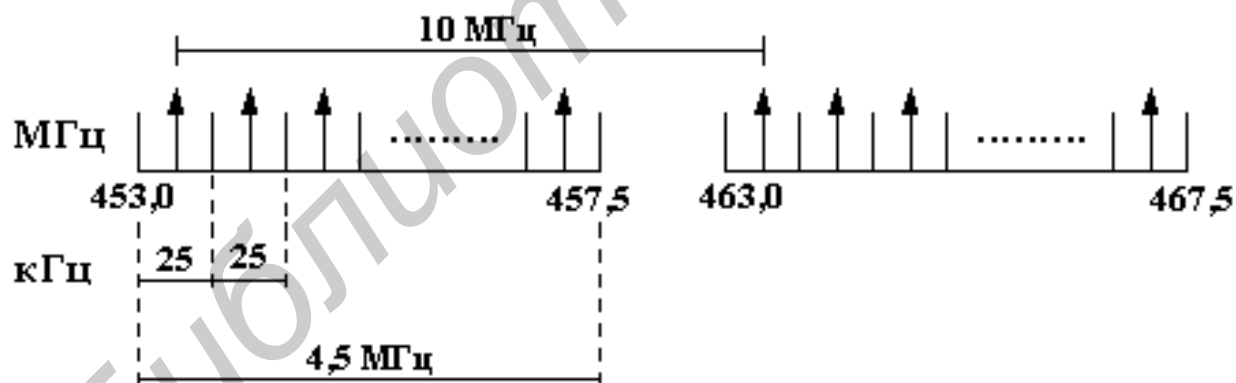


Рис. 1.1 Частотный план NMT-450

При указанных значениях полос частотный план обеспечивает

$$N = 4,5\text{МГц}/25\text{кГц} = 180 \text{ (каналов).}$$

По каждому радиоканалу передается один разговор с применением аналоговой ЧМ. В стандарте предусмотрена девиация несущей частоты F_n от 3,3кГц до 5кГц. Такое решение позволяет отказаться от защитных интерва-

лов между радиоканалами, т.к. даже при максимальной девиации спектр сигнала занимает полосу всего лишь около 10кГц, как показано на рис.1.2.

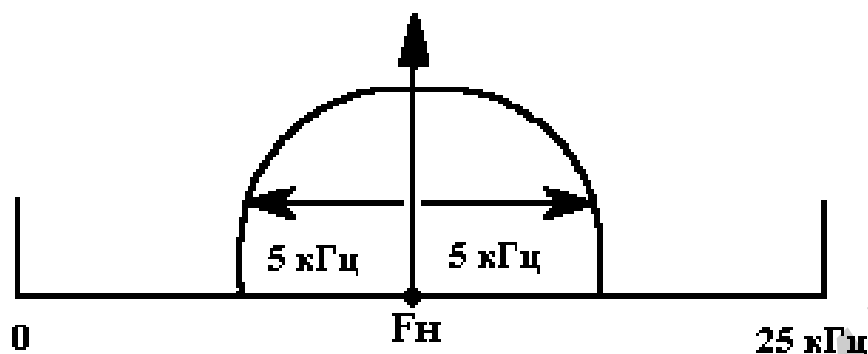


Рис. 1.2 Расположение спектра сигнала в радиоканале NMT-450

В частотном плане NMT-900 (рис.1.3), кроме смены частотного диапазона, были увеличены рабочие полосы до 25МГц и дуплексы до 45МГц.

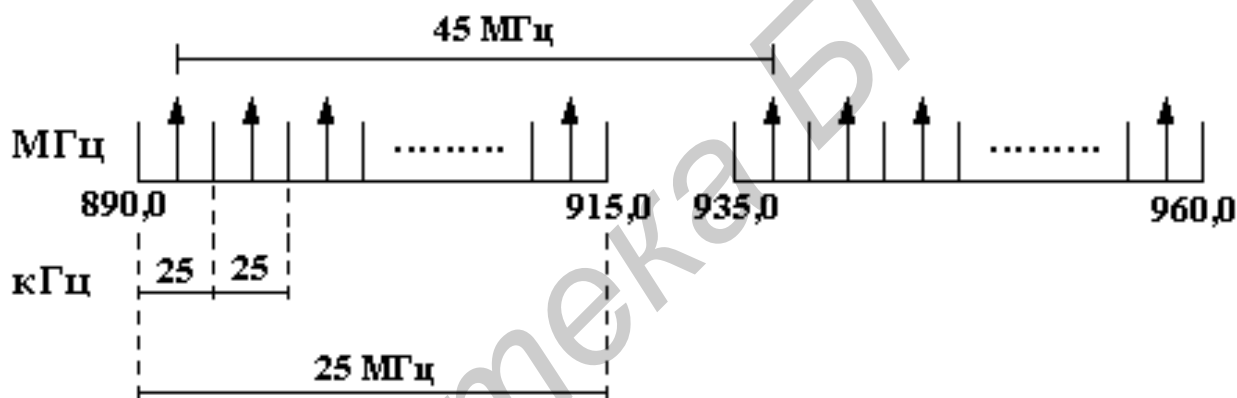


Рис. 1.3 Частотный план NMT-900

План обеспечивал количество каналов

$$N = 25\text{МГц}/0,025=1000 \text{ (999 рабочих).}$$

Для более эффективного использования частотных диапазонов применялись следующие версии стандартов группы NMT:

NMT-450i → полоса канала $\Delta f_k=20 \text{ кГц}$;

$$\text{количество каналов } 4,5\text{МГц}/20\text{кГц}=225.$$

«половинный» NMT-450 → полоса канала $\Delta f_k=12.5 \text{ кГц}$;

$$\text{количество каналов } 4.5 \text{ МГц}/12.5 \text{ кГц}=360;$$

«половинный» NMT-900 → полоса канала $\Delta f_k=12.5 \text{ кГц}$;

$$\text{количество каналов } 25\text{МГц}/12.5\text{кГц}=2000 \text{ (1999).}$$

Для всех разновидностей NMT отношение сигнал/помеха составляет 16дБ [1].

Частотный план системы GSM-900, относящейся к поколению 2G, показан на рис.1.4. План характеризуется использованием радиоканалов с шириной полосы 200кГц. За счет такого расширения полосы в каждом радиоканале организуется 8 физических каналов с временным разделением (TDMA). Всего в плане предусмотрено 124 дуплексных радиоканала и защитные полосы по 100кГц на краях.

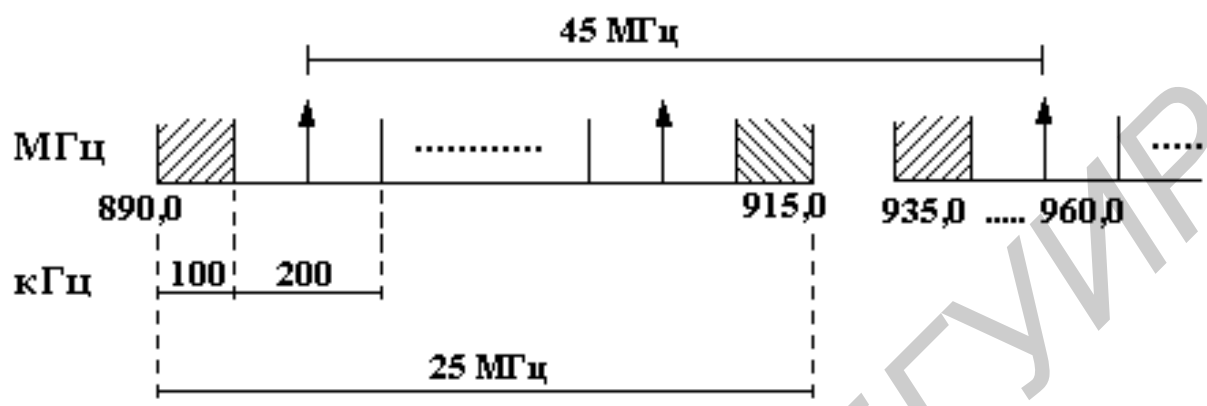


Рис. 1.4 Частотный план GSM-900

Североамериканская группа стандартов поколения 2G D-AMPS (IS-130)/ TDMA (IS-136) имеет частотные планы, заметно отличающиеся от GSM, и более похожие на планы поколения 1G (рис.1.5). Действительно, при их разработке ставилась задача обеспечить совместную работу двух поколений сотовой связи на одной территории.

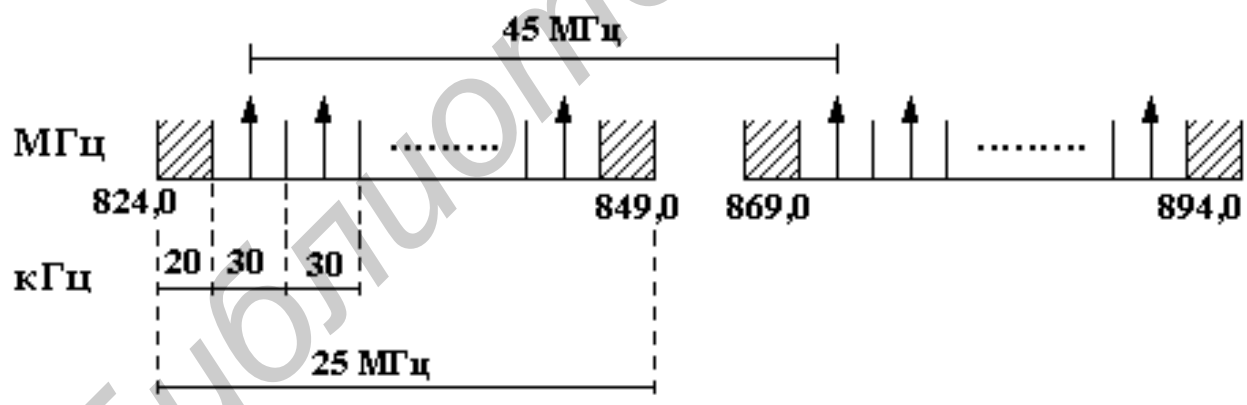


Рис. 1.5 Частотный план D-AMPS

План D-AMPS содержит 832 рабочих радиоканала шириной по 30 кГц и защитные полосы по 20кГц на краях полос. Каждый радиоканал в режиме TDMA обеспечивает 3 физических канала передачи информации.

На рис. 1.6 представлен частотный план CDMA (IS-95). План отличается использованием тех же полос, что применялись в D-AMPS. Полоса одного радиоканала существенно расширена и составляет 1,25МГц. План поддер-

живает 20 таких радиоканалов. Подобная структура плана является типичной для сотовых систем CDMA с прямым расширением спектра.

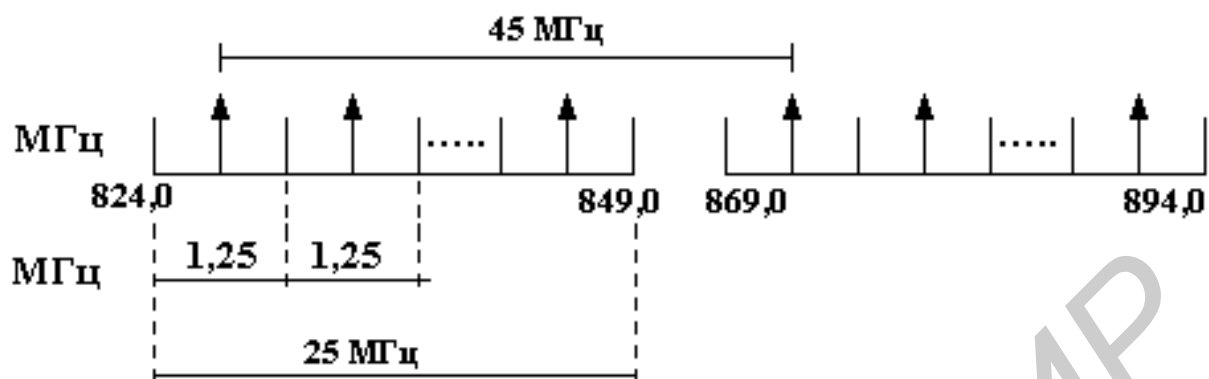


Рис. 1.6 Частотный план CDMA (IS-95)

2. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

В табл. 2.1—2.3 приводятся сравнительные характеристики основных цифровых систем подвижной радиосвязи. Аббревиатуры вариантов дуплекса, вариантов доступа, названий стандартов расшифровываются в п.6.

Табл. 2.1 содержит информацию о стандартах 2G группы GSM. В ней обозначены P-GSM – Primary – первичная версия GSM; E-GSM – Extended – расширенная версия GSM. Стандарты GSM –1800/1900 известны под названием DCS –1800/1900 (Digital Cellular System). Кроме того, используется разновидность GSM –1800/1900 с 16 каналами на несущую (за счет снижения вдвое скорости потока на выходе речевого кодека)

Таблица 2.1

Характеристики стандартов сотовой связи GSM

Система	P-GSM-900	E-GSM-900	GSM-1800	GSM-1900
1	2	3	4	5
Частоты: «вверх» «вниз»	890-915 935-960	880-915 925-960	1710-1785 1805-1880	1850-1910 1930-1990
Ширина полосы, МГц	25	35	75	60
Дуплексный разнос, МГц	45	45	95	80
Полоса радиоканала, кГц	200	200	200	200

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5
Кол-во дуплексных радиоканалов	124	174	374	299
Скорость передачи в радиоканале, кбит/с	270	270	270	270
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA
Метод дуплексирования	FDD	FDD	FDD	FDD
Количество физических каналов на несущую	8	8	8 (16)	8 (16)
Метод модуляции	GMSK	GMSK	GMSK	GMSK
Отношение сигнал/помеха, дБ	9	9	9	9
Мощность АС (пиковая), Вт	2 0,8	2 0,8	1 0,25	1 0,25
Хэндовер	да	да	да	да

В табл. 2.2 показаны характеристики американского TDMA (DAMPS) и японского PDC стандартов сотовой связи поколения 2G, стандарта поколения 2,5G CDMA (IS-95) и пикосотового европейского стандарта DECT поколения 3G.

Таблица 2.2

Характеристики стандартов сотовых и пикосотовых систем

Система	TDMA (IS-136)	PDC	CDMA (IS-95)	DECT
1	2	3	4	5
Частоты: «вверх» «вниз»	824-849 869-894	810-849 940-956	824-849 869-894	1880-1900
Ширина полосы, МГц	25	25	25	20
Дуплексный разнос, МГц	45	48	45	нет
Полоса радиоканала, кГц	30	25	1250	1728
Кол-во дуплексных радиоканалов	832	640	20	10

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5
Скорость передачи в радиоканале, кбит/с	48,6	42	1288	1152
Метод доступа	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
Метод дуплексирования	FDD	FDD	FDD	TDD
Количество физических каналов на несущую	3	3	64	12+12
Метод модуляции	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK (БС) OQPSK (АС)	GFSK
Отношение сигнал/помеха, дБ	16	17	6	12
Мощность АС (пиковая), Вт	9 4,8 1,8	2	6,3 2,5 1,0	0,25
Хэндовер	да	да	да (мягкий)	нет

Характеристики цифровых транкинговых систем приведены в табл. 2.3. Транкинговые стандарты не имеют жесткой регламентации по расположению парных полос «вверх»–«вниз», поэтому в таблице указаны лишь радиочастотные диапазоны, предусмотренные для работы аппаратуры. В транкинговых системах также отсутствует жесткая разбивка диапазонов на радиоканалы и регулярное частотно-территориальное планирование, по этой причине ряд показателей в таблице не определены (н/о).

Таблица 2.3

Характеристики цифровых транкинговых систем

Система	TETRA	APCO-25	TETRAPOL	IDENT
1	2	3	4	5
Диапазоны частот	380-400 410-430 (450-470)	138-174 406-512 746-869	70...520	805-821 855-866
Ширина полосы, МГц	20	н/о	5	н/о
Дуплексный разнос, МГц	10	н/о	10	н/о
Полоса радиоканала, кГц	25	12,5/6,25	12,5/10	25

1	2	3	4	5
Кол-во дуплексных радиоканалов	н/о	н/о	н/о	н/о
Скорость передачи в радиоканале, кбит/с	36	9,6	8	64
Метод доступа	TDMA	FDMA	FDMA	TDMA
Метод дуплексирования	FDD	FDD	FDD	FDD
Количество физических каналов на несущую	4	1	1	6
Метод модуляции	$\pi/4$ DQPSK	C4FM (для 12,5кГц) CQPSK (для 6,25кГц)	GMSK	M16-QAM
Отношение сигнал/помеха, дБ	19	12	9	20
Мощность АС (пиковая), Вт	0,56...5,6 - носимая 10...30 - автомобильная	н/д	1 - носимая, 10 - автомобильная	0,6 - носимая, 3 - автомобильная
Хэндовер	да	н/о	н/о	да

3. СРАВНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ

Операторы мобильной связи платят налоги за имеющиеся в их распоряжении частотные полосы, пропорционально ширине этих полос. По этой причине актуален сравнительный анализ эффективности использования спектра системами разных стандартов. Следует подчеркнуть, что речь идет об эффективности сети в целом, а не только о спектральной эффективности вида модуляции или т.п. Для вычисления сопоставительных метрик будем использовать данные из табл. 2.1—2.3 и п.1.

Наиболее простой характеристикой эффективности может быть ширина полосы Ω (в кГц), приходящейся на один дуплексный физический канал в системе, получаемая как отношение

$$\Omega = \Delta F_{рк} / N_{фк}, \quad (3.1)$$

где $\Delta F_{рк}$ – полоса радиоканала, $N_{фк}$ — количество информационных физических каналов, передаваемых в полосе радиоканала.

Например, для системы GSM-900, где дуплексный радиоканал образуется из двух парных полос по 200кГц, получим

$$\Omega = (2 * 200\text{кГц}) / 8 = 50\text{кГц},$$

а для системы DECT, где применяется TDD, эта величина будет равна

$$\Omega = 1728\text{кГц} / 24 = 72\text{кГц}.$$

Для сравнения эффективности систем часто используется такая характеристика, как количество физических каналов, приходящихся на полосу 1МГц [2]. С учетом дуплекса, можно записать:

$$N_{1\text{МГц}} = 1000 (\text{кГц}) / \Omega (\text{кГц}). \quad (3.2)$$

Для системы GSM-900 выражение (3.2) дает результат

$$N_{1\text{МГц}} = 1000\text{кГц} / 50\text{кГц} = 20 \text{ (дуплексных каналов)}.$$

Для системы DECT эта величина будет равна

$$N_{1\text{МГц}} = 1000\text{кГц} / 72\text{кГц} = 13,9 \text{ (дуплексных каналов)}.$$

Спектральная эффективность сотовой (зоновой) сети будет высокой, если в сети используется минимальное количество частот (радиоканалов). Получить это можно двумя способами:

- используя минимальное количество больших по радиусу сот, работающих на разных частотах;
- переиспользуя минимальное количество частот на сети из большого числа сот с небольшим радиусом.

Первый способ представляет практический интерес для территорий с низкой плотностью абонентов и систем с большой мощностью АС (например, транкинговые сети). По этой причине для городских условий предпочитают второй способ. Главное препятствие в переиспользовании частот – влияние соканальных помех, создаваемых самой же сетью. Степень переиспользования частот для регулярной сети, где все соты имеют одинаковый радиус $R_{\text{соты}}$, характеризуют коэффициентом соканального повторения [1]:

$$q = D / R_{\text{соты}} = \sqrt{3 * C}, \quad (3.3)$$

где D – расстояние между двумя БС, работающими на одинаковых частотах; $R_{\text{соты}}$ – радиус соты, C – число ячеек (сайтов) в кластере.

Выражение (3.3) достаточно корректно описывает взаимосвязь q и C при условии, что сеть изображается в виде совокупности одинаковых шестиугольников и топология кластера не очень сложная. На рис.3.1 показан пример сотовой сети на основе трехэлементного кластера ($C=3$) из круговых сот. Для такой сети $q = 3$.

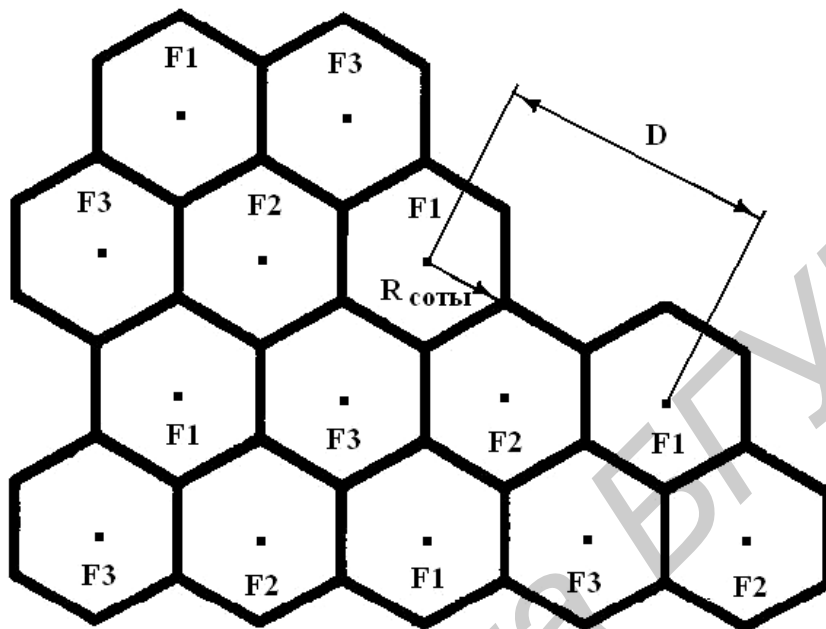


Рис. 3.1. Пример сотовой сети с коэффициентом соканального повторения частоты $q = 3$

В рамках методики [3, 7] минимальное расстояние R_{Π} (в км) от границы соты (зоны обслуживания с вероятностью 75 %) до источника соканальной помехи (БС) определяется выражением:

$$R_{\Pi} = R_{\text{соты}} * 10^{\frac{A_{\text{гр}}}{V}}, \quad (3.4)$$

где $R_{\text{соты}}$ – радиус соты (зоны обслуживания с вероятностью 75 %), км;

$A_{\text{гр}} = A_0 + 1,41 * \mu_{(75\%)} * \sigma$ – граничное отношение сигнал/помеха на границе зоны обслуживания с вероятностью 75 %, дБ;

σ – СКО флуктуаций сигнала, дБ;

$\mu_{(75\%)}$ – параметр логнормального распределения уровней сигнала с вероятностью 75 %;

A_0 – отношение сигнал/помеха с вероятностью 50 % , дБ (выбирается из табл. 2.1 – 2.3);

$V = 44,9 - 6,55 \lg(H_{\text{БС}})$ – коэффициент, зависящий от высоты подъема антенны базовой станции $H_{\text{БС}}$.

(Для городских условий следует брать $\sigma = 4$ дБ, $\mu_{(75\%)} = 0,68$ и $H_{\text{БС}} = 30$ м.)

Из (3.4) можно получить минимально возможное расстояние между БС, работающими на одинаковых частотах:

$$D = R_{\text{соты}} + R_{\text{п}}. \quad (3.5)$$

Тогда коэффициент соканального повторения q будет равен

$$q = (R_{\text{соты}} + R_{\text{п}}) / R_{\text{соты}} = 1 + 10^{A_{\text{гр}}/B}. \quad (3.6)$$

4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

4.1. Нарисовать диаграмму расположения полос частотных планов на интервале от 300 МГц до 2000 МГц для стандартов радиосвязи, приведенных в табл. 2.1—2.3, а также для стандартов NMT-450 и NMT-900. Пример диаграммы показан на рис.4.1. Проанализировать взаимные перекрытия полос и возможность разворачивания нескольких систем на одной территории.

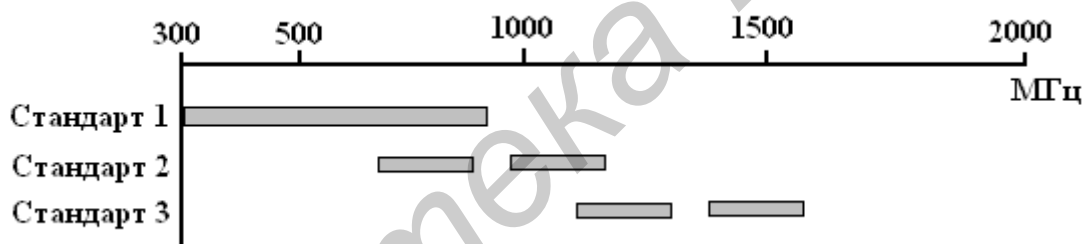


Рис. 4.1. Внешний вид диаграммы расположения частотных планов на оси частот

4.2. Вывести формулы для расчета средней частоты j -того радиоканала стандарта P-GSM-900 (для направлений «вверх» и «вниз»). Вычислить значения частот и длин волн для j -того радиоканала, взяв в качестве j номер зачетной книжки (или номер по журналу), увеличенный на 20.

4.3. Вычислить для стандартов группы NMT и стандартов радиосвязи из табл. 2.1—2.3 значения Ω , $N_{1\text{МГц}}$, q по формулам (3.1), (3.2) и (3.6). Результаты свести в таблицу. Сделать выводы об эффективности стандартов.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие из описанных стандартов радиосвязи соответствуют поколениям 1G, 2G, 2,5G и 3G?
2. Каковы принципы организации множественного доступа по схеме FDMA, TDMA и CDMA?
3. С какой величиной в частотном плане стандарта связан используемый размер кадра (количество тайм-слотов) TDMA?
4. Что такое FDD и TDD?
5. Чем отличается полудуплекс от дуплекса при FDD?
6. В каких системах радиосвязи преобладает полудуплекс? Почему?
7. Как организуется работа нескольких операторов на одной территории с точки зрения частотного плана?
8. На сколько сантиметров различается длина волны в 1-м и последнем радиоканале стандарта PGSM-900 (GSM-1800\1900)?
9. В чем преимущества и недостатки мобильных радиосистем диапазона 50—400МГц в сравнении с системами диапазона 800—2000МГц?
10. Какова тенденция изменения радиодиапазонов мобильных систем и чем это объясняется?
11. В чем преимущества и недостатки сложных видов модуляции при их использовании в сотовых (зоновых) сетях ?
12. Какие параметры влияют на эффективность использования спектра сотовой сетью?
13. Чем определяется коэффициент соканального повторения частоты?

6. ПЕРЕЧЕНЬ АББРЕВИАТУР

TDMA: Time Division Multiple Access - множественный доступ с разделением во времени.

FDMA: Frequency Division Multiple Access - множественный доступ с разделением по частоте.

CDMA: Code Division Multiple Access - множественный доступ с кодовым разделением.

TDD: Time Division Duplex – временной дуплекс.

FDD: Frequency Division Duplex - частотный дуплекс.

NMT: Nordic Mobile Telephone - аналоговые мобильные системы скандинавских стран. 1981.

AMPS: Advanced Mobile Phone System - усовершенствованная система мобильной связи. аналоговая система, основанная на FDMA и работающая в диапазоне 800 МГц. США, Канада. 1983.

DAMPS: Digital AMPS - Североамериканский цифровой стандарт, 1990. Он же TDMA, IS-136, ANSI-136.

GSM: Global System for Mobile Communications - Глобальная система мобильной связи. Европейский Институт Стандартизации Электросвязи (ETSI).1990-91.

PDC: Personal Digital Cellular - персональная цифровая сотовая связь. Стандарт основан на технологии TDMA. Используется исключительно в Японии. 1991.

CDMA IS-95 / cdmaOne - цифровой стандарт, использующий CDMA. Гонконг, США. 1995.

DECT: Digital Enhanced Cordless Telecommunications - цифровая пикосотовая система беспроводной связи.

APCO-25: Association of Public Safety Communications Officials – стандарт транкинговой связи, ориентированный для служб общественной безопасности, США.

IDENT: Integrated Digital Enhanced Network – интегрированная цифровая усовершенствованная транкинговая сеть, США.

TETRA: Terrestrial Trunked Radio – трансевропейская транкинговая радиосистема.

TETRAPOL: TETRA police – трансевропейская полицейская транкинговая радиосистема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи.-- М.: Эко-Трендз, 2001. –300с.

2. Быховский М.А. Сравнение различных систем сотовой подвижной связи по эффективности использования радиочастотного спектра // Электросвязь. 1996. №5. С.9-12.

3. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. – СПб: СПбГУТ, 2000. – 196 с.

4. GSM System Survey. Student text. EN/LZT 123 3321 R2A,1998 by Ericsson Radio Systems AB.

5. Громаков Ю.А.Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 1997. –238 с.

6. Никодимов И.Ю., Мансыров М.И. Планирование сети GSM// Сети и системы связи. 1999. № 13.

7. Частотно-территориальное планирование сотовых сетей связи стандарта GSM: Метод. указ. для практ. занятий по курсу «Системы подвижной радиосвязи» для студ. спец. I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций» дневной и заочной форм обуч./ Сост. В.А. Аксёнов, Э.А. Чуйко. – Мн.: БГУИР, 2005. – 16 с.

Учебное издание

**АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОСНОВНЫХ СТАНДАРТОВ
СОТОВОЙ СВЯЗИ**

Методические указания
к лабораторным занятиям по курсу «Системы подвижной радиосвязи»
для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»
дневной и заочной форм обучения

С о с т а в и т е л ь
Аксёнов Вячеслав Анатольевич

Ответственный за выпуск В.А. Аксенов

Подписано в печать 4.07.2006.	Формат 60 x 84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,05.
Уч.-изд. л. 0,9.	Тираж 100 экз.	Заказ 170.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6