

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Амурский государственный университет»  
Кафедра «Физики»

**СБОРНИК УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**  
**По дисциплине «Телекоммуникационные сети»**

для направления подготовки 03.03.02 – «Физика»

Благовещенск 2017

**УДК 621.398 (07)**

ББК

К55

Телекоммуникационные сети. Сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.03.02 – «Физика».

/ сост. И.Б. Копылова, – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2017.

Сборник учебно-методических материалов содержит методические рекомендации для работы студента на лекционных, практических и лабораторных занятиях, выполнению отчетов по лабораторному практикуму. Приведен краткий конспект лекций, вопросы к экзамену. Сборник можно использовать для изучения сходных по содержанию дисциплин; средства связи и передачи информации, основы радио и телевидения.

Для направления подготовки 03.03.02 – «физика». Для физических отделений высших учебных заведений.

Составитель: И.Б. Копылова, к.ф.-м.н., доцент.

## АННОТОЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ Телекоммуникационные сети

В процессе изучения дисциплины «Телекоммуникационные сети» рассматриваются: теория передачи сигнала с помощью электромагнитных волн, особенности распространения, генерации и приема электромагнитных волн. Изучается принцип работы передающих и принимающих устройств, принципы модуляции сигналов, включая модуляцию цифровых сигналов.

Рассматриваются аналоговые и цифровые системы связи: цифровое радио, цифровое телевидение, мобильные системы подвижной связи, в том числе мобильная сотовая связь. Рассматриваются принципы передачи цифрового сигнала, организация каналов связи и трафика. Изучаются стандарты различных систем связи и особенности организации связи на территории России, перспективы развития данной отрасли.

Для освоения дисциплины необходимо знать: основы математического анализа, теорию генерации и преобразования сигналов, устройство и работу основных элементов электроники и вычислительной техники.

### СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	2	3
1	ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ	Классификация систем связи. Назначение, условия функционирования, принципы построения, структурные схемы телекоммуникационных систем и их основных подсистем, показатели качества. Сети связи. Структура сетей связи
2	АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ	Основные понятия и определения. Эталонная модель взаимосвязи открытых систем (модель OSI), общие сведения о протоколах эталонной семиуровневой модели. Логическая структура коммуникационных сетей с маршрутизацией и селекцией информации и их компонентов, основные характеристики информационных сетей. Особенности современных сетевых архитектур. Глобальные и локальные сети. Архитектурные особенности современных локальных сетей. Протоколы физического и канального уровней. Особенности сети Internet и работы с её ресурсами
3	СТАНДАРТЫ ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ	В Роль стандартов в области телекоммуникаций, российские и международные организации по стандартизации, виды стандартов для телекоммуникационных систем и сетей. Понятие о протоколах.
1	2	3

4	ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ	Системы телефонной связи. Системы телеграфной связи. Коротковолновые и ультракоротковолновые системы связи. Радиорелейные системы связи. Телевизионные системы связи. Спутниковые системы связи. Волоконно-оптические системы связи. Технико-экономические предпосылки перехода к цифровым технологиям передачи сообщений. Современные виды информационного обслуживания: факсимильная передача информации; электронная почта; телеконференция; видеотекст; телетекст. Цифровая телефония. Интеграция услуг передачи информации разного вида на единой цифровой технологической основе. Мультимедийные телекоммуникационные системы общего и специального (профессионального) назначения. Цифровые сети с интеграцией служб (ISDN) и широкополосные цифровые сети с интеграцией служб (B-ISDN). Интеграция телекоммуникационных систем подвижной, фиксированной и спутниковой связи. Сети интегрального обслуживания.
5	ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ СООБЩЕНИЙ В ЦИФРОВУЮ ФОРМУ И ЭФФЕКТИВНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СООБЩЕНИЙ	Виды сообщений и их характеристики, принципы преобразования аналоговых сообщений в цифровую форму (дискретизация по времени, квантование по уровню, кодирование информации в системах связи) и обратно (декодирование и интерполяция). Информационная емкость и избыточность сообщений. Цифровой поток. Понятие о сжатии информации. Принципы эффективного и помехоустойчивого кодирования информации. Схемная реализация. Алгоритмы кодирования и декодирования. Методы модуляции в системах связи. Основные типы модемов. Дискретные вокодеры. Международные стандарты аналого-цифрового преобразования и сжатия аудио- и визуальной информации. Технические характеристики и принципы функционирования современных модемов.
6	МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И ДЕМУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ	Особенности цифровых систем многоканальных передач сообщений. Уплотнение информации. Способы объединения цифровых потоков. Совместное использование ресурсов физической среды несколькими источниками сообщений, многоканальные системы и концентраторы, методы мультиплексирования и демупльтиплексирования сообщений. Проблема синхронизации при использовании временного и кодового разделения. Особенности передачи цифровых сигналов по цифровым каналам. Помехи и искажения, возникающие при передаче сообщений.
1	2	3

7	КАНАЛЫ СВЯЗИ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ	Определение понятия "канал" в теории связи в зависимости от рассматриваемых сечений линии "точка-точка". Связь с понятиями модели OSI. Концептуальные модели каналов (что учитывается, для чего предназначена). Методы коммутации информации. Особенности сетей с коммутацией каналов, сообщений, пакетов. Маршрутизация и управление потоками в сетях связи. Основные математические модели физических каналов и информационных (в первую очередь, двоичных) каналов. Сигналы в телекоммуникационных системах и сетях. Сигналы в локальных сетях. Сигналы в кабельных сетях связи. Сигналы в радиосистемах подвижной, спутниковой и специальной связи. Сигналы в волоконно-оптических линиях.
8	МОДУЛЯТОРЫ И ДЕМОДУЛЯТОРЫ РАДИО- И ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	Принципы построения модуляторов и демодуляторов для наиболее употребительных приложений. Совмещение функций модуляции и демодуляции
9	ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ	Показатели достоверности принятых сообщений: отношение сигнал-шум, коэффициент ошибок. Задержка и надёжность доставки сообщений. Скорость передачи и пропускная способность. Постановка задачи оптимизации канала передачи в целом и основные результаты ее решения (теоремы Шеннона). Нормируемые специальные показатели и экспертные оценки качества передачи информации. Стандарты.

### Темы практических занятий

1. Акусто-электрические конверторы сигналов: распространение акустических волн; возбуждение и прием акустического сигнала; основные характеристики преобразования акустического сигнала. Акустическое и электрическое согласование преобразователей.
2. Элементы оптоэлектроники и инфракрасной техники: источники оптического излучения систем передачи. Светоизлучательные диоды: конструкция, принцип действия, характеристики. Лазеры для систем связи. Фотоприемники оптических систем: характеристики, принцип работы PIN фотодиода, лавинный фотодиод.
3. Системы приема и передачи информации. Структурная схема передачи цифровой информации. Параметры и характеристики каналов. Иерархический принцип построения цифровых телекоммуникационных систем. Системы плезиохронных цифровых иерархий, особенности построения, недостатки.
4. Мультиплексирование PDH сигналов в технологии SDH. Структура цикла SDH. Сети SDH.
5. Компьютерные сети. Локальные вычислительные сети (ЛВС). Типы конфигурации, методы доступа. Адаптеры и приемопередатчики. Управление передачей кадров. Стандарты ЛВС. Технологии Ethernet. Глобальные компьютерные сети (ГКС).

Характеристики ГКС. Сети и услуги, доступ и информационные ресурсы, адресация и протоколы Internet. Протокол Frame Relay (FR).

### Темы лабораторных занятий

1. Оценка помехоустойчивости каналов связи.
2. Оптимальное кодирование информации в каналах связи.
3. Виды кодов и оценка эффективного кодирования для различных кодов.
4. Основные методы модуляции и демодуляции цифровых сигналов.
5. Специальные показатели и экспертные оценки качества.

### 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

№ п/п	Наименование темы (раздела)
1	2
1	Общая характеристика систем телекоммуникации
2	Архитектура информационных сетей
3	Тенденции развития телекоммуникационных систем и сетей.
4	Системы телефонной и телеграфной связи
5	Преобразование аналоговых сообщений в цифровую форму и эффективное представление цифровых сообщений
6	Методы мультиплексирования и демуплексирования
7	Каналы связи и их математические модели
8	Модуляторы и демодуляторы радио- и оптических сигналов
9	Показатели качества каналов передачи информации

### Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Телекоммуникационные сети»

1. Копылова И. Б., Телекоммуникационные сети [Электронный ресурс]: сборник учебно-методических материалов по дисциплине/И.Б.Копылова. АмГУ, - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2018. - 25 с. Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9899.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9899.pdf)
2. Лебедько, Е.Г. Теоретические основы передачи информации. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2011. — 352 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/1543> — Загл. с экрана.

### УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### а) основная литература:

1. Пуговкин А.В. Телекоммуникационные системы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Пуговкин А.В.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007.— 202 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13983>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

#### б) дополнительная литература:

1. Лебедько, Е.Г. Теоретические основы передачи информации. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2011. — 352 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/1543> — Загл. с экрана.

2. Зырянов, Ю.Т. Проектирование радиопередающих устройств для систем подвижной радиосвязи. [Электронный ресурс] / Ю.Т. Зырянов, П.А. Федюнин, О.А. Белоусов, А.В. Рябов. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/93691> — Загл. с экрана.

3. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи. [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Т. Зырянов [и др.]. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2017. — 176 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91886> — Загл. с экрана.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	2	3
1	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>	Электронно-библиотечная система IPRbooks — научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования.
2	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
3	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	Научная электронная библиотека журналов
	<b>Перечень программного обеспечения (обеспеченного лицензией)</b>	<b>Реквизиты подтверждающих документов</b>
4	Автоматизированная информационная библиотечная система «ИРБИС 64»	лицензия коммерческая по договору №945 от 28 ноября 2011 года
5	MS Windows 7 Pro	Операционная система MS Windows 7 Pro – DreamSparkPremiumElectronicSoftwareDelivery (3 years) Renewal по договору – Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 01 марта 2016 года

## Требования к реферату

Тема реферата может быть выбрана студентом из предложенного преподавателем списка, либо может быть предложена самим студентом. Тема реферата утверждается руководителем.

1. Реферат выполняется под руководством преподавателя. План реферата обязательно обсуждается с руководителем и утверждается им.
2. Реферат должен быть оформлен согласно стандарту АмГУ. Обязательным является наличие реферата, в котором определяются цель и задачи выполненной работы.
3. Содержание реферата содержит основные разделы: содержание, введение, основная часть (каждая глава основной части может иметь собственное название), заключение, библиографический список.
4. Во введении определяется круг вопросов по исследуемой проблеме, которые найдет отражение в реферате. Основная часть может состоять из нескольких глав или разделов. В заключении делается вывод по выполненному исследованию. Каждый подпункт излагается на 1 и более страницах, дробление материала на более мелкие части является нецелесообразным.
5. Объем реферат должен составлять 15-25 страниц.
6. Библиографический список должен включать не менее 5 источников, изданных за последние 10 лет. Ссылки на официальные сайты оформляются согласно требованиям стандарта. **Помните, что учебники не должны использоваться для написания реферата!**
7. Студент, не защитивший реферат, не допускается к сдаче зачета.

### Темы рефератов.

1. Преобразование цифрового сигнала в процессе передачи сообщения
2. Виды цифровой модуляции сигналов. Цифровые модуляторы.
3. Цифровое радиовещание: организация и сферы применения.
4. Цифровое телевидение: стандарты, системы, внедрение на территории России.
5. Кодирование и декодирование информации.
6. Способы защиты информации в системах связи.
7. Глобальные системы навигации.
8. современные системы локации и обнаружения.
9. Системы телеметрии и радиоизмерений.
10. системы спутниковой связи.
11. Системы подвижной мобильной связи.
12. Системы мобильного интернета.
13. системы беспроводного интернета.
14. Оптические системы передачи информации.
15. Кабельные системы связи и телевидения.
16. Перспективы развития цифровых средств связи.
17. Перспективные подходы в создании новых информационных материалов.
18. Способы кодирования, защиты и передачи информации.
19. Пакеты прикладных программ, ориентированные на решение физических задач.
20. Основные направления экспериментальной физики. Важнейшие открытия XX века.
21. Методы исследования микромира. Типы, основные характеристики современных и планируемых ускорителей.
22. Высокотемпературные сверхпроводящие материалы, возможные области применения.
23. Волоконные линии связи: физика работы, структура, материалы.



## 24. Информационные ресурсы. Интернет.

### Вопросы к экзамену

1. Общие понятия о передаче информации. Основные определения
2. Классификация телекоммуникационных систем. Основные характеристики и показатели  
Общее определение уровней передачи
3. Роль стандартов в организации работы систем связи. Стандартизирующие организации.  
Роль протоколов в работе систем связи. Стандарты IEEE.
4. Обобщенная структурная схема систем электросвязи. Модели сетей.
5. Технологии коммуникации. Основные определения, схемы и их характеристики.
6. Виды протоколов. Модель ISO. Уровни модели и их характеристики. Протоколы уровней в работе систем связи.
7. Основные сведения о сетях электросвязи. Основные определения
8. Архитектура информационных сетей. Основные определения, структура, характеристики, применение.
9. Структура локальных систем связи. Характеристики. Области применения
10. Кабельные линии связи на основе металлических проводников. Виды кабелей и их характеристики.
11. Волоконно-оптические линии связи. Структура волоконно-оптических линий, основные характеристики.
12. Радиолинии. Свойства, показатели, особенности, структура, области применения.
13. Методы модуляции в системах связи
14. Кодирование. Общие положения. Понятие о помехоустойчивом кодировании.
15. Виды кодов, достоинства и недостатки, области применения
16. Способы устранения канальной ошибки. Метод перемежения
17. Основы теории многоканальной передачи сообщений
18. Поток данных. Маршрутизация информации.
19. Мультиплексирование и демultipлексирование.
20. Частотное разделение сигналов
21. Временное разделение каналов
22. Помехоустойчивость каналов. Повышения качества передачи информации.
23. Каналы связи. Классификация. Характеристики.
24. Особенности построения цифровых систем передачи
25. Волоконно-оптические системы передачи и перспективы их развития
26. Радиолинии и системы передачи сообщений с радиоканалами
27. Радиорелейные системы передачи. Классификация. Частотный диапазон.
28. Тропосферная связь. Спутниковые системы связи
29. Современные телефон и телеграф. Принципы IP телефонии.
30. Принципы построения сотовых систем связи.
31. Принципы функционирования сотовых систем связи.

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
«отлично»	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами

	студентами.	и сведениями с использованием сведений из других предметов.
«хорошо»	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них.	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявления причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями.
«удовлетворительно»	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного –материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправление с помощью преподавателя.	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов.

### Краткий конспект лекций

**Информация** – совокупность сведений о событиях, явлениях ,предметах, предназначенная для преобразования, передачи, хранения и т.д.

**Сообщение** – форма представления информации.

**Дискретное сообщение** - отображение сведений о системе с ограниченным числом состояний.

**Сигнал** – физический процесс (явление) несущий информацию о состоянии объекта наблюдения.

**Код** – число символов  $m$ , которые формируют сообщение. Сообщение состоит из  $n$  символов.

Число возможных сообщений

$$N = m^n$$

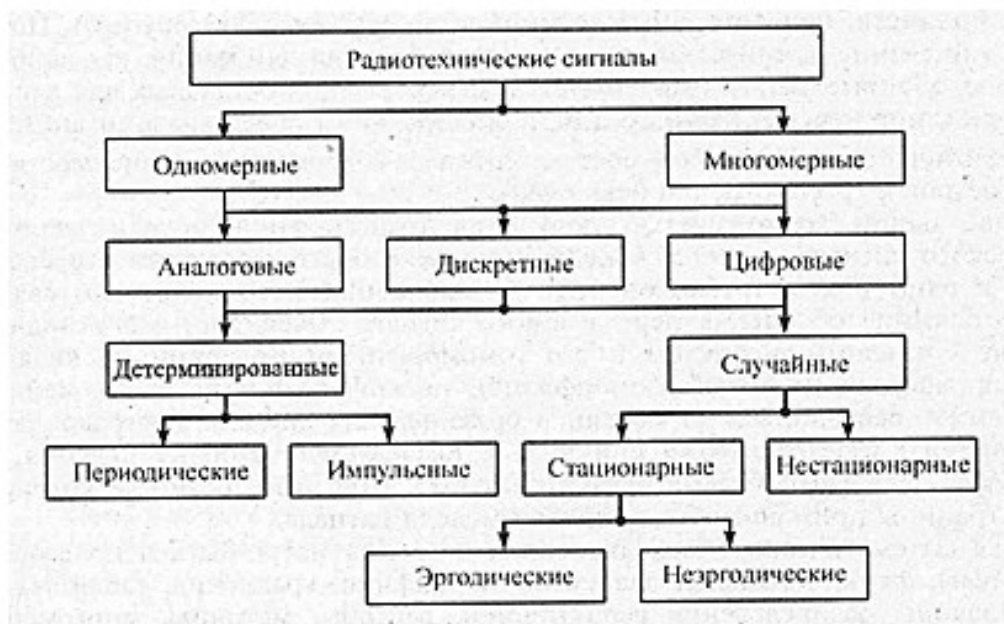
Количество информации:

$$I = n \log_a m$$

Энтропия информации:

$$H = \frac{I}{n} = \log_a m$$

## КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ



### Параметры сигнала

$$B_c = 2F_c T_c \quad \text{База сигнала}$$

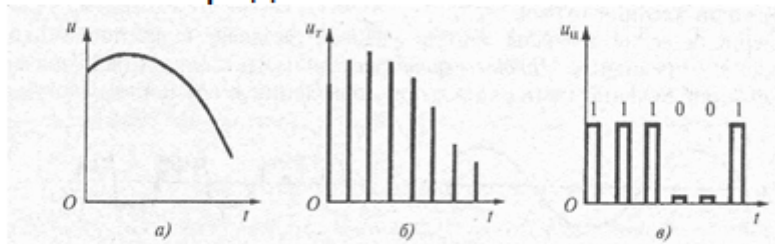
$$V_c = F_c T_c D_c \quad \text{Объем сигнала}$$

$$\Pi = \frac{P_{\text{и}}}{S_c} = \frac{P_{\text{и}}}{4\pi^2} \quad \text{Плотность потока мощности}$$

$$\Pi = \frac{E_{\text{и}}^2}{120\pi}$$

$$E_{\text{и}} = \frac{\sqrt{30P_{\text{и}}}}{r}$$

### Временное представление сигнала



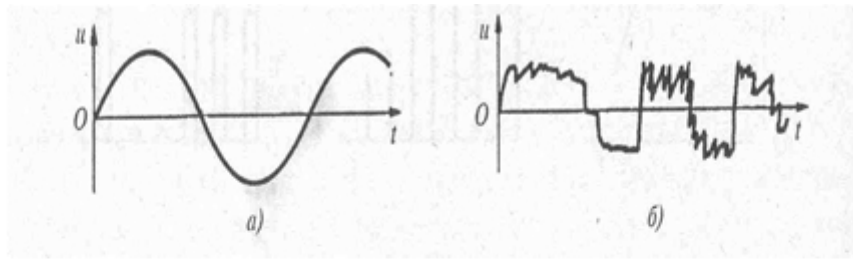
а) - аналоговый; б) – дискретный; в) - цифровой

Детерминированные – определены в любой момент времени: периодические (гармонические и полигармонические)

и непериодические (импульсные – сигнал конечной энергии, отличный от нуля в определенном временном интервале).

Почти периодические сигналы.

Случайные сигналы.



а) - детерминированный сигнал; б) – случайный сигнал

## Помехи

Внешние и внутренние.

Внешние обусловлены работой других устройств, в дециметровом диапазоне учитываются космические помехи, в оптическом – квантовый шум. Атмосферные и промышленные помехи.

Внутренние обусловлены работой РТ устройств.

Аддитивные помехи

$$V(t) = S(t) + X(t)$$

Сосредоточенные по спектру (узкополосные), импульсные (сосредоточенные по времени), флуктуационные (тепловой шум, дробовой, фликкер-шум)

Мультипликативные

$$V(t) = k(t)u(t);$$

$k(t)$  – некоторый коэффициент, отражает случайный процесс.

В канале связи присутствуют оба вида помех, поэтому

$$V(t) = k(t)u(t) + X(t)$$

## Модуляция сигналов

Модуляция – изменение параметров сигнала в соответствии с законом передаваемого сообщения.

Амплитудная модуляция

Однотональная

$$u_{AM}(t) = U_H(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = [U_H + k_A e(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Многотональная

Модулирующее колебание

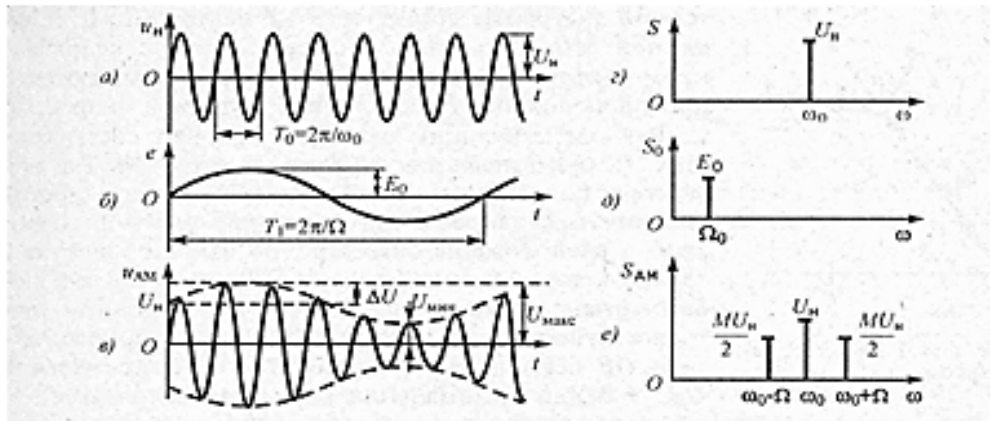
$$e(t) = E_0 \cos(\Omega t + \theta_0)$$

Общий вид АМ сигнала

$$u_{AM}(t) = U_H (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$

Коэффициент модуляции

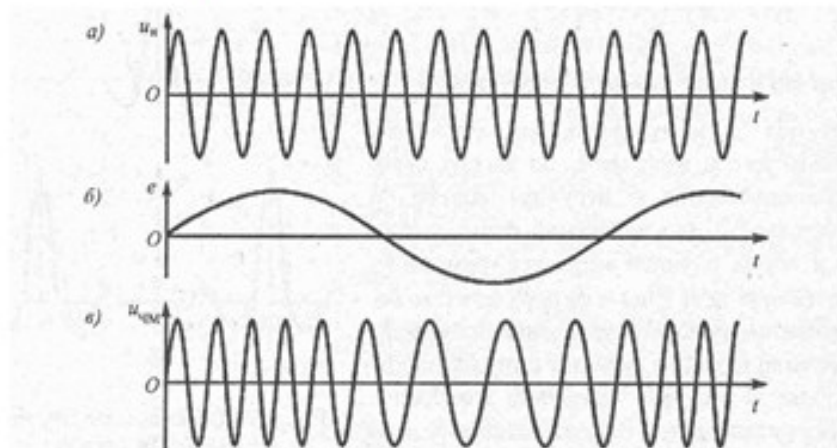
$$M = \frac{k_A E_0}{U_H}$$



## Частотная модуляция

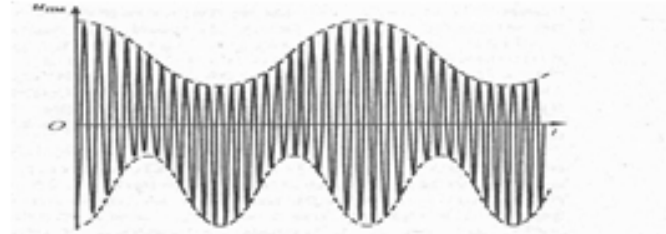
$$u_{FM}(t) = U_H \cos(\omega_0 t + m_\nu \sin \Omega t)$$

$$m_\nu = \frac{k_\nu E_0}{\Omega} \quad \text{Коэффициент частотной модуляции}$$



# Полярная модуляция

Предназначена для создания стереофонического звучания (наличие двух микрофонов правого и левого). Для создания используется суммарно-разностный метод.

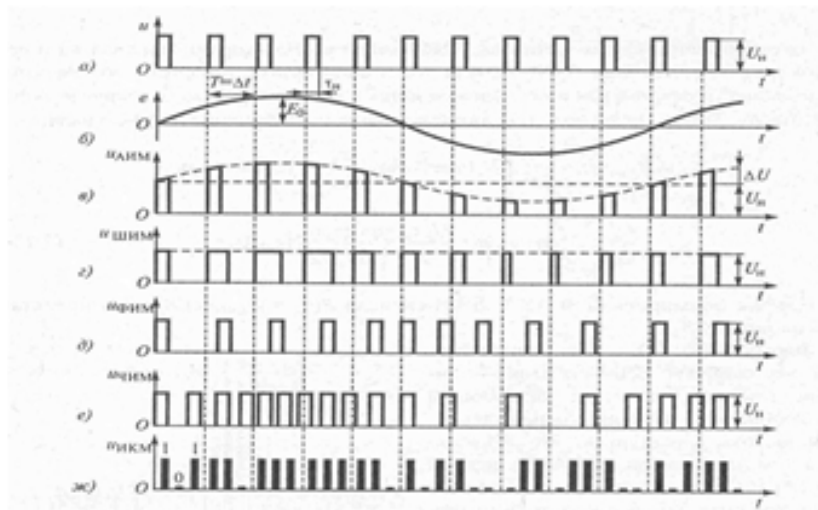


$$u_{\text{пм}}(t) = U_{\text{п}} \left[ M \frac{l(t) + r(t)}{2} + \left( 1 + \frac{l(t) - r(t)}{2} \right) \cos \omega_{\text{п}} t \right]$$

Двухступенчатая система: формируется сигнал с полярной модуляцией с использованием **поднесущей** частоты, затем формируется АМ сигнал, в качестве модулирующего используется полярномодулированный сигнал

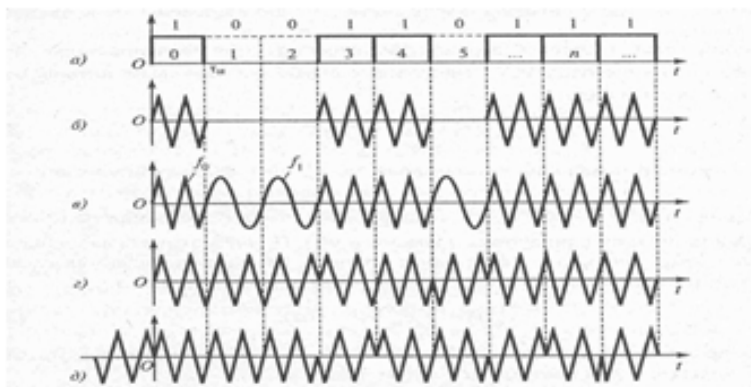
# Импульсная модуляция

- Амплитудно-импульсная (АИМ)
- Широтно-импульсная (ШИМ)
- Фазо-импульсная (ФИМ) или времяимпульсная(ВИМ)
- Импульсно-кодовая (ИКМ)(цифровая манипуляция)



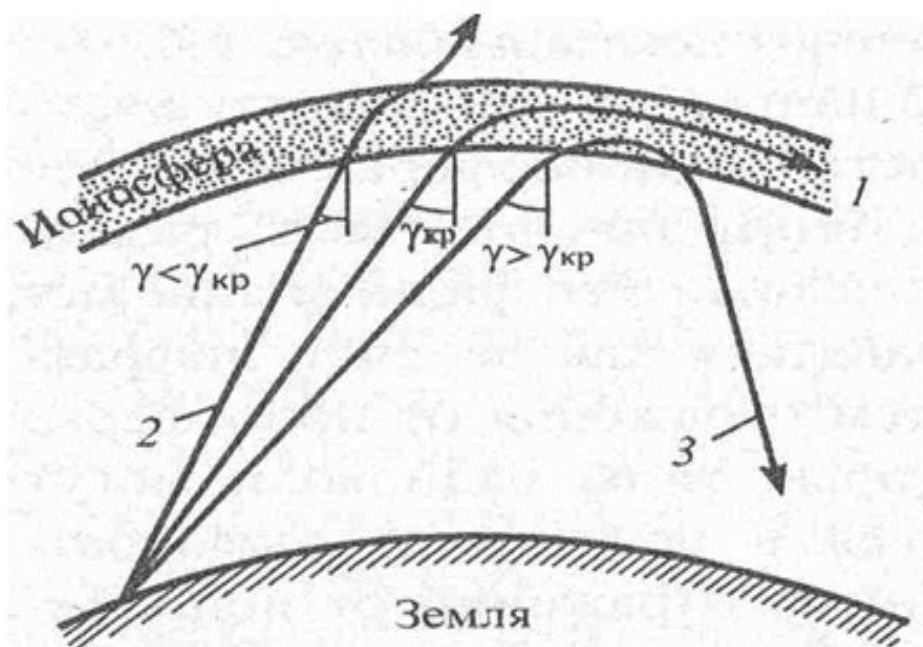
## Импульсно-кодовая(цифровая) модуляция

- ИКМ-АМ (ЦАМ) (Рис. б))
- ИКМ-ЧМ (ЦЧМ) (Рис. в))
- ИКМ-ФМ (ЦФМ) (Рис. г)); ОФМ – относительная ФМ(Рис. д))

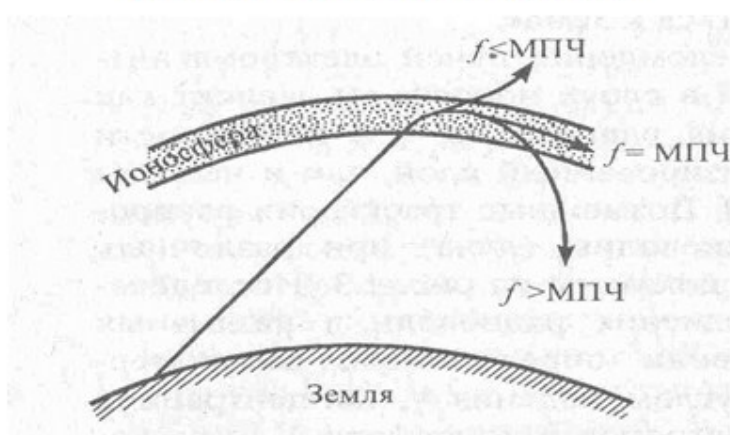


## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ

### Траектории распространения волн при разных углах падения

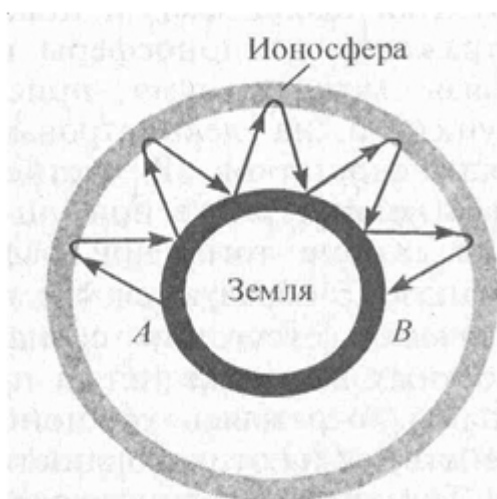


## Траектории распространения волн при разных частотах излучения



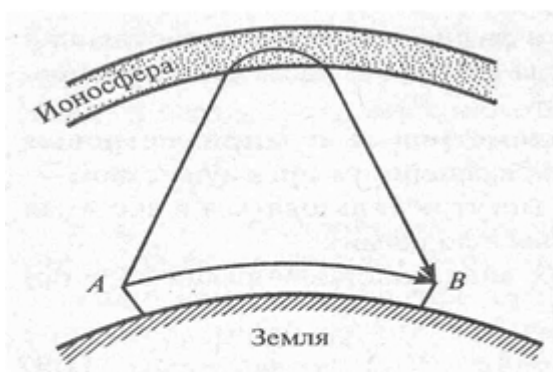
МПЧ – максимально применимая частота

## Распространение километровых волн пространственными лучами



Передаваемые волны  
Множественно отражаются от  
верхних слоев атмосферы –  
скачковый способ  
распространения волн

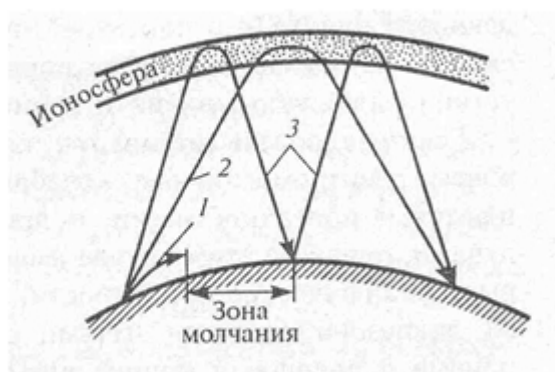
## Возникновение эффекта замирания



Эффект замирания или фединг – быстрое изменение уровня принимаемого сигнала. Объясняется интерференцией пространственных и поверхностных волн.

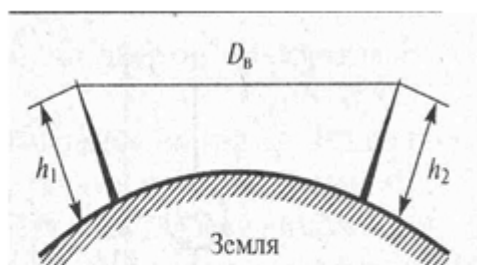


## Распространение декаметровых волн



Зона молчания образуется в местах, где поверхностных волн уже нет, а пространственные не действуют на этих расстояниях.

## Распространение метровых волн



$$D_{\text{в}} = \sqrt{2R_3}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}).$$

Расстояние прямой видимости (км), высота мачтовой антенны (м).

Радиус Земли около 6370 км.

## Теорема Котельникова

- **Формулировка:** функция  $f(t)$ , не содержащая частот выше  $F$  (Гц), полностью определяется последовательностью своих значений в моменты времени, отстоящие друг от друга на

$$\Delta t = \frac{1}{2F} \text{ (сек).}$$

Между передачей непрерывного и дискретного сигнала не существует принципиального различия.

Вид функции, выраженный через ее отсчеты

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k\Delta t) \frac{\sin 2\pi F(t - k\Delta t)}{2\pi F(t - k\Delta t)}$$

или

$$\psi(t) = \frac{\sin 2\pi F(t - k\Delta t)}{2\pi F(t - k\Delta t)}$$

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k\Delta t) \psi_k(t)$$

Условие ортогональности:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_k(t) \psi_l(t) dt = \begin{cases} \frac{1}{2F} & \text{При } k=l \\ 0 & \text{При } k \neq l \end{cases}$$

Мощность, выделяемая на единичном сопротивлении:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt = \frac{1}{2F} \sum_{k=-\infty}^{\infty} f^2(k\Delta t)$$

Разложение функции на конечном интервале времени

$$f(t) = \sum_{k=1}^n f(k\Delta t) \psi_k(t)$$

Мощность на единичном Сопротивлении:

$$\int_0^T f^2(t) dt = \frac{1}{2F} \sum_{k=1}^n f^2(k\Delta t)$$

$$n = 2FT \gg 1$$

## Классификация радиотехнических систем

Системы передачи информации (связь, радио и телевидение, телеметрические системы, командные и т.д.)

Системы обнаружения и измерения (навигационные системы)

Системы радиотелеуправления (системы слежения)

Системы связи предназначены для передачи сообщений от источника к потребителю.

По виду передаваемых сообщений: телефонная, телевизионная, телеграфная, фототелеграфия, телеизмерение, телеуправление и передача данных.

По назначению телефонные и телевизионные системы делятся на вещательные и профессиональные.

Системы радиосвязи: симплексные («один-ко-всем»), дуплексные («один-на-один»), полудуплексная (поочередно прием и передача).  
Одноканальные и многоканальные.

Аналоговые системы связи и цифровые.

## Основные характеристики систем связи

**Помехоустойчивость** – защищенность от воздействия помех.

**Верность** – соответствие принятого сообщения переданному (отношение сигнал/шум).

**Скорость** передачи информации

$$R = \frac{\log_2 m}{T}$$

**Пропускная способность** канала (системы уплотнения информации).

**Информационная эффективность**  $\eta$

$$\eta = \frac{T}{C}$$

**Динамический диапазон** канала – отношение допустимой мощности передаваемого сигнала к мощности помехи (дБ).

**Емкость** канала

$$V_k = T_k F_k D_k$$

## Радиоприемные системы

### Классификация радиотехнических систем

Системы передачи информации (связь, радио и телевидение, телеметрические системы, командные и т.д.)

Системы обнаружения и измерения (навигационные системы)

Системы радиотелеуправления (системы слежения)

Системы связи предназначены для передачи сообщений от источника к потребителю.

По виду передаваемых сообщений: телефонная, телевизионная, телеграфная, фототелеграфия, телеизмерение, телеуправление и передача данных.

По назначению телефонные и телевизионные системы делятся на вещательные и профессиональные.

Системы радиосвязи: симплексные («один-ко-всем»), дуплексные («один-на-один»), полудуплексная (поочередно прием и передача).  
Одноканальные и многоканальные.

Аналоговые системы связи и цифровые.

# Радиоприемные устройства

Основные функции:

**Детектирование** – демодуляция сигнала.

**Усиление** – необходимость усиления принятого высокочастотного сигнала, усиление детектированного низкочастотного сигнала.

**Фильтрация** – выделение полезного сигнала.

Способность приемника выделять сигнал называется **избирательностью** или **селективностью**. Для селекции используются отличительные признаки: направление прихода, поляризацию, вид частотного спектра, время появления, амплитуду, фазу и т.д.

Частотная избирательность.

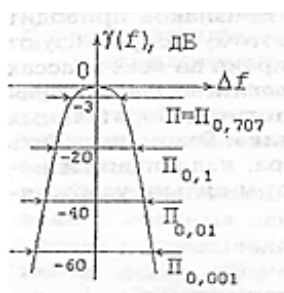
Основные характеристики:

**Чувствительность** – способность принимать слабые сигналы.

**Частотная избирательность** – определяется формой резонансной характеристики. Нормированная резонансная характеристика

$$\gamma(f) = \frac{K(f)}{K_0}$$

По данной характеристике определяют полосу пропускания



$\Pi = \Pi_{0,707}$  Полоса пропускания

$k_{пр} = \frac{\Pi_{\gamma}}{\Pi}$  Коэффициент прямоугольности

**Диапазон принимаемых частот** – область частот, в которой осуществляется нормальный прием полезных сигналов. Приемники с настройкой на определенную частоту и с плавной перестройкой.

Коэффициент перекрытия диапазона частот

$$\alpha = \frac{f_{max}}{f_{min}}$$

**Выходная мощность** или выходное напряжение определяется как мощность или напряжение в выходном каскаде приемника при заданной нагрузке.

**Качество воспроизведения** сигнала определяется степенью искажений, вносимых элементами приемника.

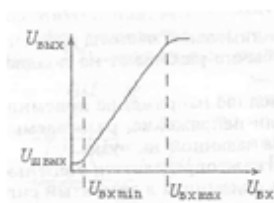
Амплитудно-частотные (линейность АЧХ)

Фазо-частотные (линейность ФЧХ)

Нелинейные искажения

$$K_{\tau} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1}$$

Искажения динамического диапазона



$$U_{вых} = f(U_{вх})$$

Ограничен собственными шумами приемника и началом области насыщения АЧХ, связанной с перегрузкой приемника

## Радиопередающие системы

Радиопередающие устройства состоят из передатчика и передающей антенны. Передатчики классифицируют:

**По назначению:** вещательные (радиовещательные, телевизионные), связные, радиолокационные, навигационные, телеметрические и т.д..

**По диапазону рабочих частот.**

**По средней излучаемой мощности:** очень малой (менее 3 Вт), малой (3-100 Вт) , средней (0,1-10 кВт), большой (10-100 кВт), сверхбольшой (более 100 кВт) мощности.

**По виду модуляции.**

**По условиям эксплуатации:** стационарные, бортовые, переносные.

Основные параметры.

**Кoeffициент полезного действия:**

$$\eta = \frac{P_A}{P_o}$$

**Нестабильность частоты ( $10^{-8} - 10^{-9}$ )**

**Кoeffициент нелинейных (линейных) искажений.**

### Цифровое радиовещание

ЦРВ должно отвечать следующим требованиям:

не создавать помех аналоговому вещанию;

обеспечивать качество звука на уровне компакт-диска;

передавать в полосе 1,5 МГц до шести стереопрограмм с дополнительной информацией;

обеспечивать вещанием большую территорию путем организации одночастотных сетей или непосредственного спутникового вещания;

принимать программы наземного и непосредственного спутникового вещания радиоприемниками с ненаправленными штыревыми антеннами;

быть устойчивым к воздействию помех, в частности помех многолучевого распространения;

уверенный прием автомобильными приемниками в условиях города;

наличие каналов передачи информации ограниченного доступа;

возможность использования универсального приемника для приема по

Различным каналам распространения.

Этим требованиям отвечает система DAB (Digital Audio Broadcasting).

Проект «Эврика - 147» принят международным радиовещательным союзом.

**Требования к регуляторам** относятся к ручной регулировке громкости.

Устойчивость, надежность работы, экономичность питания, удобство управления, механическая прочность, габариты, вес, стоимость.

## Обеспечение частотной избирательности

Во входную цепь (ВЦ) и усилитель радиочастоты (УРЧ) вводят дополнительные частотно-избирательные системы.



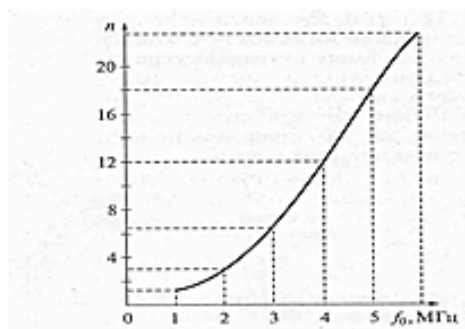
$$\sigma(\Delta f) = \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{2\Delta f}{f_0 d_k} \right)^2} \right]^n$$

$$\Delta f = f - f_0$$

Нормированная частотная характеристика тракта радиочастоты

$$n = \frac{\ln 2}{\ln \left[ 1 + \left( \frac{\Pi}{f_0 d_k} \right)^2 \right]}$$

Число контуров



## Системы обнаружения и измерения

Радиолокация

Радионавигация

Радиотелеметрия

Пассивные радиосистемы, когда радиопередатчик отсутствует, сигнал принимается приемником от каких-либо естественных источников эл.м. колебаний. Приемники радиотепловых сигналов – радиометры, используются в пассивной локации, астрономии, технике измерений.

### Радиолокационные системы.

Обнаружение и распознавание объектов, определение пространственных координат, направления и скорости движения объектов, измерение дальности.

РЛС состоит: генератор импульсов, передатчик, состоящий из генератора несущей частоты и модулятора, антенный переключатель (АП), остронаправленная антенна, приемник и измеритель.

## **Системы подвижной (мобильной) радиосвязи (СПР)**

Принцип построения: *многостанционный доступ* – возможность обращения к одной приемопередающей (базовой) станции (БПС) или спутниковому ретранслятору нескольких мобильных станций (МС), которые могут одновременно принимать и передавать информацию.

### **Характеристики системы**

Емкость системы – число каналов – пропускная способность.

Быстродействие.

Используемый частотный ресурс.

Основная задача: нахождение базиса (ансамбля) ортогональных сигналов, обеспечивающего оптимальные параметры и характеристики системы.

Формирование базисов происходит по частоте, времени и форме.

### **Методы организации работы**

1. Многостанционный доступ с частотным разделением каналов (МДЧР – FDMA-Frequency Division Multiple Access). Каждая подвижная станция работает в некоторой полосе частот, разделенных защитными интервалами. Частотный спектр - невозполнимый государственный ресурс.
2. Многостанционный доступ с временным разделением каналов (МДВР – TDMA- Time Division Multiple Access). TDMA- кадр.

Для приема сигнала выделен определенный промежуток времени.

Длительность кадра зависит от сетевого *трафика*. *Трафик* – информационная нагрузка, передаваемая потоками информации, количество информации, поступающей через сеть связи.

Требует взаимной синхронизации подвижных станций.

3. Многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (МДКР – CDMA-Code Division Multiple Access). Использование широкополосных или шумоподобных сигналов (ШПС). Используется и частотное и временное разделение каналов:
  - а) сигнал имеет большую длительность, излучаемая мощность меньше;
  - б) нет крутых фронтов импульсов излучения;
  - в) можно ввести множество кодовых комбинаций.

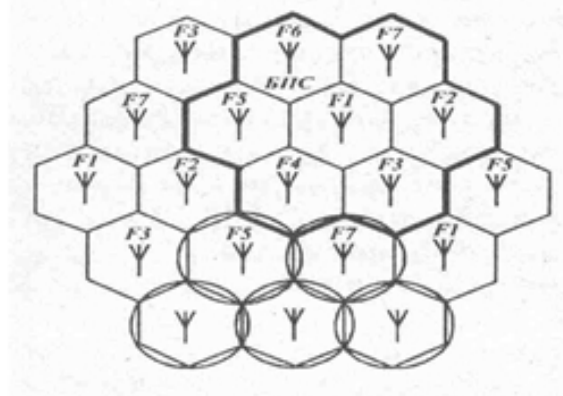
### **Группы систем подвижной связи**

1. Системы сотовой подвижной связи (ССПС).
2. Профессиональные системы подвижной связи (ПСПС).
3. Системы персонального радиовызова (СПРВ) или пейджинговые системы.
4. Системы подвижной спутниковой связи (СПСС).
5. Системы беспроводных телефонов (СБТ).

### Системы сотовой подвижной (мобильной) связи

В 1946 г. первая сеть мобильной связи в Сент-Луисе, США. Шестиканальная система с мощной передающей станцией. Принцип «неизбежности» или «фатальности». Большие энергозатраты и узкий частотный диапазон.

Проблема ограниченного частотного диапазона была решена разработкой сотовой концепции системы связи, которая состоит в следующем: вся территория разбивается на соты, в центре каждой соты устанавливается маломощная базовая приемопередающая станция с одной или несколькими несущими частотами. Базовая приемопередающая станция с помощью проводной или волоконно-оптической линии связи подключается к входу сотового терминала, который соединен с телефонной сетью общего пользования (ТСОП). Антенны БПС имеют круговые диаграммы направленности.



Соты с одинаковым набором частот перемежаются буферными сотами для исключения влияния *соседних помех*. Группа сот в зоне обслуживания с различными наборами частот называется *кластером*, число сот в наборе – размерностью кластера.

Для устранения *соседних помех* можно использовать несколько антенн с секторальными ДН.

Сотовая концепция включает также идею «эстафетной передачи» переговоров сигналов с соты на соту, что позволяет абоненту пересекать границы сот, автоматически переключаясь с одной станции на другую.

Построение системы: создание *макросот* (1-35 км), разбиение макросот на *микросоты* (до 1 км), создание *пикосот* (до 100 м).

Создание *интеллектуальных антенных систем*, которые автоматически могут перестраивать диаграммы направленности. Наличие ФАР – фазированных антенных решеток, позволяет использовать не только аналоговые, но и цифровые системы связи.

В России используются зарубежные стандарты четырех типов:

Аналоговые NMT-450 (*Nordic Mobile Telephone System* – Скандинавская СПТС) и AMPS (*Advanced Mobile Phone System* - Перспективная ПТС); цифровые – GSM (*Global System for Mobile Communications* – Глобальная СПС), D-AMPS и сеть CDMA фирмы *Qualcomm*.

Все системы сотовой связи строятся по типовой схеме.



## Сотовая сеть GSM

Сеть GSM является структурой с распределенным управлением. Функциональное сопряжение элементов осуществляется стандартными интерфейсами, а ее составные компоненты взаимодействуют в соответствии со стандартизированной на международном уровне системой протоколов сигнализации МККТТ (цифровая связь).

Состоит из двух подсистем:

*Подсистема коммуникации (SS-Switching System).*

*Подсистема базовых станций (BSS-Base Station Subsystem).*

## Организация телевизионного вещания

Автором первого сеанса передачи геометрического изображения в 1907 г. с помощью электронно-лучевой трубки был профессор Петербургского технологического института Б.Л.Розинг(1869-1938).

Его ученик В.К.Зворыкин (1889-1972) в 1923 г. оформил в США заявку на изобретение электронной системы *телевидения* (*tele* - от греч., вдаль, далеко). В 1929 г. он изобрел *кинескоп* – принимающую трубку, в 1931 – передающую трубку *икonosкоп* (независимо от сов. Ученого С.И.Катаева).

Телесистемы – частный случай радиосистем симплексного типа.

Телесистема – совокупность радиотехнических устройств, обеспечивающих передачу и прием изображений по радиоканалам, спутниковым, волоконнооптическим, или кабельным линиям связи.

Принцип действия основан на последовательном построении разложения изображения на самые мелкие элементы (*pixel – picture element*) и передачи о них информации. Процесс построения яркости и цветности элементов изображения в электрическое напряжение – *видеосигнал* – называют *растровой разверткой* (*rastrum* – от лат. - грабли). Площадь одного образца изображения – *кадра* – просматривается по двум взаимно перпендикулярным направлениям – с высокой скоростью по горизонтали – *строчная развертка*, с меньшей скоростью по вертикали – *кадровая развертка*.

Вещательное и прикладное телевидение.

Сеть телевидения состоит из **передающей и приемной** частей.

**Передающая** часть включает:

Телецентр (ТЦ);

Телевизионные радиопередатчики (ТРП) с передающими антеннами (Апд);

Телевизионные ретрансляторы (ТР) с передающими антеннами, станциями спутникового телевидения (ПдС СТВ), которые передают сигнал на бортовые ретрансляторы искусственных спутников связи (БР ИСЗ).

**Приемная** сеть строится по следующим схемам:

1. Прием сигнала на индивидуальные приемные антенны, спутниковые антенны. Это происходит в зоне уверенного приема при достаточной высоте передающих и приемных антенн, и достаточного коэффициента усиления приемной антенны.
2. Использование маломощных телевизионных ретрансляторов, когда расстояние между передатчиком и приемником превышает зону передачи. Малые ТР переизлучают сигнал на определенную местную сеть. Сигнал может быть передан и по линиям связи. Может принимать сигналы со спутников.
3. Прием сигнала на коллективную антенну, распределение с помощью распределительной коробки (РК) по кабелю до потребителя. Диапазон МВ. Могут использоваться коллективные приемные станции.
4. Крупные системы коллективного приема (КСКП) и системы кабельного телевидения (коаксиальные или световые кабели (СКТВ)). Сигнал от БР ИСЗ принимается антеннами головной станции (ГС), усиливается и по магистральной (МРС) и домовым (ДРС) подаются на приемники.

## **Системы цветного телевидения**

Для передачи цветного изображения используется **техкомпонентная теория цветового зрения**. Любой цвет можно получить смешением трех основных цветов: *красного, зеленого, синего*, взятых в определенной пропорции.

$$E_{\gamma} = aE_R + bE_G + cE_B$$

Значения коэффициентов различны, что объясняется различной чувствительностью глаза к различным цветам. Яркостный сигнал имеет ту же ширину спектра, что и в черно-белом телевидении. Сигналы цветности имеют узкую полосу.

**Копылова Ирина Борисовна,**  
*доцент кафедры физики АмГУ, канд. физ.-мат. наук*