*Раздел* 1. Виды телеметрических систем

Лекция 1

**Принципы построения и классификация телеметрических систем**

1.Предмет и содержание курса.

2.Задачи, решаемые телеметрическими системами.

3.Принципы построения телеметрических систем.

4.Классификация телеметрических систем.

**1.Предмет и содержание курса**

**1.1. Цель и задачи дисциплины**

Дисциплина «Телекоммуникационные и компьютерные технологии в светотехнике» является одной из дисциплин специализации при подготовке дипломированных специалистов по направлению 210100 «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210102.65 «Светотехника и источники света»), служит общетехнической подготовке студентов и создает теоретическую базу для изучения процессов регистрации, передачи и обработки информации для управления светотехническими устройствами.

Целью дисциплины является изучение способов, средств передачи сигналов и информации по телеметрическим системам с использованием новейших компьютерных технологий.

**1.2.Требования к уровню освоения дисциплины**

Студент, изучивший курс «Телекоммуникационные и компьютерные технологии в светотехнике» должен

 **знать:**

-теоретические основы построения телекоммуникационных систем, применяемых в светотехнике;

-общие вопросы съема и виды преобразований телеметрической информации;

-классификацию и происхождение помех, возникающих при передаче сигналов по каналам связи;

-принципы и электрические схемы для передачи телеметрической информации по каналам связи и последующей компьютерной обработки информации после их приема;

-примеры использования телеметрических систем и компьютерных технологий, применяемых в светотехнике;

**уметь применять:**

-методы выбора и обоснования телеметрических систем и канала связи в зависимости от метода регистрации управляющих параметров;

-методы анализа работы телеметрических систем;

-методы анализа причин возникновения помех при передаче информации по телеметрическим системам;

-методы аналитических и численных расчетов электрических схем блоков телеметрических систем, используемых в светотехнике;

-программные продукты для обеспечения функционирования телеметрических систем;

-специальную литературу.

На занятиях будут рассматриваться некоторые вопросы функционирования, проектирования и конструирования телеметрических и телекоммуникационных систем.

*Объем дисциплины и виды учебной работы:*

Общая трудоемкость – 150 часов, в том числе:

-лекции – 34 час;

-практические занятия – 17 часов;

-лабораторные работы – 17 часов;

-самостоятельная работа – 82 часа.

Дисциплина завершается *экзаменом*.

*Вопросы для самостоятельной проработки* (82 часа):

1. Современное положение в области применения телеметрических систем в научных исследованиях и производственных условиях.

2. Проводные линии связи. Передача телеметрической информации по телефону.

3. Развитие радиосвязи. Основы радиоприема.

4. Особенности оптоэлектронных и гидроакустических систем телеметрии.

5. Принципы преобразования неэлектрических величин в электрические. Типы датчиков и их конструкции.

6. Сравнительный анализ систем с частотным и временным принципом разделения каналов. Виды преобразования сигналов в светотехнике.

7. Система мониторинга в светотехнике.

8. Применение телекоммуникационных систем.

9. Принципы работы сотовой связи.

10. Пути обеспечения помехоустойчивости телеметрических систем.

11. Состояние обработки и анализ данных в светотехнике. Средства автоматической обработки информации.

*Рекомендуемая литература*:

*основная литература*

9.1.1. Телекоммуникационные системы и сети: учеб.пособие. В 3 т. / под ред. В.П.Шувалова. – 3-е изд., испр. и доп., Т.1: Современные технологии / Б.И.Крук, В.Н.Попантонопуло, В.П.Шувалов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 647 с.: ил.

9.1.2. Телекоммуникационные системы и сети: учеб.пособие. В 3 т. / под ред. В.П.Шувалова. – 2-е изд., испр.и доп., Т.2: Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Г.П.Катунин, Г.В.Мамчев, В.Н.Попантонопуло, В.П.Шувалов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 672 с.: ил.

9.1.3. Телекоммуникационные системы и сети: учеб.пособие. В 3 т. / под ред. В.П.Шувалова. – 2-е изд., испр.и доп., Т.3: Мультисервисные сети / В.В.Величко, Е.А.Субботин, В.П.Шувалов, А.Ф.Ярославцев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.: ил.

9.1.4. Румянцев К.Е. Прием и обработка сигналов: учеб.пособие / К.Е.Румянцев. – М.: Академия, 2004. – 528 с.

*дополнительная литература*

9.1.5. Румянцев К.Е. Прием и обработка сигналов: сборник задач и упражнений / К.Е.Румянцев. – М.: Академия, 2006. – 368 с. – (Высшее профессиональное образование).

9.1.6. Келим Ю.М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики: Учеб. пособие для средн. проф. учеб. заведений / Ю.М.Келим. – 2.- изд., исправл. и доп. – М: Высш. шк., 2004. – 352 c.

*периодические издания (журналы)*

* + 1. Светотехника.
		2. Датчики и системы.
		3. Информационно-измерительные и управляющие системы.
		4. Измерительная техника.

9.1.10. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.

**2.Задачи, решаемые телеметрическими системами**

***Телеметрия*** (*от греч*.tele – далеко, metreo – измеряю) – измерение на расстоянии показателей, характеризующих состояние каких-либо объектов. (например, снятие показателей технических объектов при испытании).

***Телекоммуникации*** (дальняя связь) – передача информации на большие расстояния с помощью электрических, оптических и радиосигналов.

Телеметрическая система – это специализированная система связи, в которой измеряемая величина преобразуется в электрический сигнал, передается на приемную станцию и там регистрируется.

В технической телеметрии различают системы:

1.*телеметрические*;

2.*радиотелеметрические*;

3.*комбинированные*.

В первой передача информации осуществляется по проводам, а во второй – по радиоканалу. В комбинированных системах совмещены и те, и другие варианты передачи информации.

Примеры:

1.*Примером* технической телеметрической системы может служить система дистанционного отключения ламп уличного освещения. Сигнал на отключение подается по сетевым проводам с напряжением 220 В (подача сигнала осуществляется на основе частотного разделения).

2.*Примерами* радиотелеметрической системы являются дистанционный контроль работы нефтяных вышек, контроль превышения скорости автомобилями (Германия), использование беспилотных самолетов. В частности, радиотелеметрическая система применяется для экологического мониторинга территории г.Москвы и даже отдельных предприятий.

3.*Примером* использования комбинированной системы является передача информации в космических пилотируемых аппаратах. Источниками сигналов могут быть, например, давление в кабине летчика, речь космонавтов или другие сигналы. От датчиков идут провода к регистрирующей аппаратуре (как телеметрическая система), а далее информация передается по радиоканалу на Землю при прохождении космического аппарата в зоне нахождения приемных устройств (как радиотелеметрическая система).

В зависимости от целей и задач испытаний приводятся следующие измерения:

1. Измерения для управления и для доказательства того, что характеристики управляемого светотехнического устройства или оборудования удовлетворяют соответствующим техническим требованиям к нему.

2. Измерения для оценки и проверки работы отдельных агрегатов светотехнических устройств и их взаимодействия.

3. Измерения для определения отдельных агрегатов с целью переконструирования их или улучшения их характеристик.

**3.Принципы построения телеметрических систем**

Телеметрия осуществляется средствами телемеханики. Телеметрическая система состоит из передающей части, канала связи и приемной части. На рис.1 представлена общая блок-схема передающей части, а на рис.2 – общая блок-схема приемной части телеметрической системы.



Рис.1. Общая блок-схема передающей части телеметрической системы



Рис.2. Общая блок-схема приемной части телеметрической системы

В более подробном исполнении телеметрические установки включают в себя самые разные технические узлы:

-предусилители,

-усилители,

-модуляторы,

-калибраторы,

-генераторы поднесущей и несущей частот,

-антенные устройства разной конструкции,

-приемные устройства,

-разные типы регистраторов и средств обработки информации и т.д.

**4.Классификация телеметрических систем**

Классификация телеметрических систем необходима для получения представления о той или иной телеметрической системе и для того, чтобы охарактеризовать соответствующую телеметрическую систему.

Классификация телеметрических систем осуществляется по разным признакам: по назначению, габаритам, надежности, дальности действия, числу каналов, частоте излучения передатчика, методу модуляции, стоимости и др.

Многие классификации по этим показателям является качественными, а иногда и частными.

Сравнительно разработанной классификацией телеметрических систем является классификация по взаимному расположению передатчика и приемника. По этому признаку телеметрические системы разделяется на 5 классов ([2\*], стр.37-38).

*I класс*.

Объект изучения находится на достаточном удалении от стационарного передатчика и связан с ним проводами. Это системы, в которых объект исследования, передатчик и приемник неподвижны. Такие системы называют *стационарными*.

Примером служит телеметрическая система для обмена информацией между материками, отдельными городами и т.д.

*II класс*.

Объект исследования соединен проводом с передатчиком, которые находятся на каком-то носителе и взаимно неподвижны. Носитель перемещаются относительно приемник. Такие системы называют *транспортируемыми*.

Примером является передача сигнала с кораблей на материк, с космического аппарата на Землю и т.д.

*III класс*.

Передатчик укреплен непосредственно на объекте и перемещается вместе с ним относительно приемника. Системы называют *динамическими*.

Они с успехом применяются при физиологических исследованиях спортсменов.

*IV класс*.

Передающая часть находится внутри объекта и неподвижна относительно его станины. Такие системы получили название *встраиваемых*.

Такой принцип используется для изучения подвижных устройств.

*V класс*.

Передающая часть находится внутри деталей объекта и перемещается относительно его узлов и приемника. Объект обычно неподвижен. Такие системы лучше всего назвать *вводимыми*.

В дополнение к изложенной классификации биотелеметрические системы разделяются и по видам телеметрии, в которых они используются. Различают два виды телеметрии:

-*динамическая* телеметрия;

-телеметрия *покоя*.

Телеметрическая система (с точки зрения специфика ее использования) в немалой степени определяется видом исследуемого объекта. Поскольку с учетом специфики различают *светотехническую*, *спортивную*, *биологическую* и *сельскохозяйственную* телеметрию, то и телеметрические системы могут классифицироваться по признакам специфики.

Кроме того, следует различать *большую* и *малую* телеметрию. Первая решает задачи на государственном уровне, а вторая – частные задачи на уровне отдельных исследований с помощью сравнительно простой аппаратуры.

Лекция 2

Параметры телеметрических систем

1.Обобщенная структурно-функциональная схема телеметрической системы.

2.Достоинства и недостатки телеметрических систем.

3.Основные параметры телеметрических систем.

4.Дальность передачи информации.

5.Требования, предъявляемые к телеметрическим системам.

**1.** **Обобщенная структурно-функциональная схема телеметрической системы**

**1.1.Типовая блок-схема передающей части телеметрических систем**

На рис.1 представлена типовая блок-схема одноканальной передающей части телеметрической системы.



Рис.1. Типовая блок-схема одноканальной передающей части телеметрической системы:

Д – датчик, У – усилитель, К – калибратор, М – модулятор,

ГПЧ – генератор поднесущей, ГВЧ – генератор высокочастотный,

А – антенна

Однако для определения функционального состояния светотехнических устройств одноканальная запись недостаточна. Чтобы иметь представление о температуре, яркости и других параметров, надо записать данные несколькими датчиками.

Таким образом, для получения обстоятельной информации о функции светотехнического устройства необходимы многоканальные телеметрические системы, и поэтому практически все светотехнические телеметрические системы являются многоканальными.

**1.2.Типовая блок-схема приемной части телеметрических систем**

На рис.2 представлена типовая блок-схема одноканальной приемной части телеметрической системы.



Рис.2. Типовая блок-схема приемной части телеметрической системы:

А – антенна, ВЦ – входная цепь, УВЧ – усилитель высокой частоты, УПЧ – усилитель промежуточной частоты, Г – гетеродин, УНЧ – усилитель низкой частоты, Р – регистратор, Мон – монитор, КОИ – компьютерная обработка информации

**2.** **Достоинства и недостатки телеметрических систем**

Достоинства ТС:

1.Автономность объекта (объект не привязан к стационарным стендам).

2.Возможность получения уникальной и специфической информации.

3.Получение более достоверной информации.

4.Возможность передачи информации из труднодоступных зон (из космоса, из рабочих мест, например, от неостывшей домны мартеновской печи или очага пожара, из нор от диких животных и т.д.).

5.Возможность передачи информации при физических нагрузках в динамике.

Недостатки ТС:

1.Дороговизна.

2.Отсутствие промышленных серийных разработок.

3.Повышенные габариты (не всегда можно реализовать желаемое).

4.Необходимость подготовленных специалистов (персонала) для разработки и обслуживания установки.

5.Ограниченная продолжительность непрерывной работы.

**3.** **Основные параметры телеметрических систем**

Выбор используемой ТС определяется числом регистрируемых показателей и характеристиками этих показателей.

Число регистрируемых показателей и их характеристика зависит от используемых видов телеметрии (*динамической* телеметрии или телеметрии *покоя*), вида исследуемого объекта и т.д.

Например, задача передачи сигнала в динамической телеметрии существенно сложнее, чем в телеметрии покоя. В малой (динамической) телеметрии, которая решает только частные задачи отдельных исследований с помощью сравнительно простой аппаратуры, обычно осуществляется регистрация 1-2 или нескольких сигналов.

Основные параметры телеметрических систем следующие:

1. Число регистрируемых показателей.

2. Характеристики регистрируемых показателей.

3. Дальность передачи информации.

4. Необходимая точность измерений. По требуемой точности измерения телеметрические системы можно разделить на три класса:

а) телеметрические системы средней точности – точность 3-5 %;

б) телеметрические системы высокой точности – точность 1-2 %;

в) телеметрические системы очень высокой точности – точность 0,1-0,5 %.

5. Характеристика спектров сообщений. Передаваемые сообщения условно разделяются на две группы. В *первую* группу входят медленноменяющиеся сообщения с шириной спектра от 0 до 5 Гц. При передаче этих сообщений возможно применение механического коммутатора. Во *вторую* группу входят сообщения с шириной спектра от 0 до 2000-3000 Гц. Первая группа сообщений в светотехнике обычно многочисленна, сюда входят температура, давление и прочие медленноменяющиеся показатели. Во вторую входят вибрация и акустический шум, быстрые колебания в элементах управления светотехническими установками, колебания напряженности электромагнитного поля и т.д.

**4. Дальность передачи информации**

Передача сигнала в телеметрических системах производится на расстояние от нескольких метров до нескольких километров. Дальность ограничивается видом канала связи и возможностями линий связи.

Например, радиоканалы для целей передачи информации используют частотные диапазоны 902-928 МГц (расстояния до 10 км, пропускная способность до 64кбит/с), 2,4 ГГц и 12 ГГц (до 50 км, до 8 Мбит/с). Они используются там, где не существует кабельных или оптоволоконных каналов или их создание по каким-то причинам невозможно или слишком дорого. Более низкие частоты (например, 300 МГц) мало привлекательны из-за ограничений пропускной способности, а большие частоты (>30 ГГц) работоспособны для расстояний не более или порядка 5 км из-за поглощения радиоволн в атмосфере.

В настоящее время накоплен определённый опыт работы с открытыми линиями оптической связи в приземных слоях атмосферы с использованием лазеров. Однако земная атмосфера является плохой средой для распространения света, и сильная зависимость надёжности связи от атмосферных условий (определяющих оптическую видимость) на трассе распространения ограничивает применение открытых линий оптической связи относительно малыми расстояниями (несколько километров) и лишь для дублирования существующих кабельных линий связи, использования в малоинформативных передвижных системах, системах сигнализации и т.п.

По этой причине только разработка кремниевых волокон с низким коэффициентом поглощения в инфракрасном диапазоне (< 0,2 дБ/км) сделало возможным широкое распространение оптических каналов связи. В 1990 году в США суммарная протяженность оптических волокон составляла около 9000000 км, к 2000 году зафиксировано утроение этой длины. Укладывается ~1000км оптоволоконного кабеля в день.

**5. Требования, предъявляемые к телеметрическим системам**

Исходя из задач телеметрических систем, можно сформулировать следующие основные требования к ним:

1. Одновременное измерение и передача многих параметров (до нескольких десятков и более).

2. Обеспечение необходимой точности измерений.

3. Обеспечение передачи сообщений с разнообразными спектрами.

4. Телеметрическая система должна быть максимально проста и надежна.

5. Телеметрическая система должна быть гибкой и предусматривать возможность быстрой замены одних датчиков другими.

Лекция 3

Виды и характеристики сетей передачи данных

1. Назначение каналов и сетей передачи данных.

2. Обобщенная схема каналов передачи данных.

3. Виды и основные характеристики сетей передачи данных.

4. Проводные линии.

**1. Назначение каналов и сетей передачи данных**

***Канал связи*** – канал передачи, технические устройства и *тракт связи,* в котором сигналы, содержащие информацию, распространяются от передатчика к приёмнику.

Таким образом, каналы связи и сети передачи данных предназначены для передачи информации от передающей части к приемной части телеметрических систем и для транспортировки сообщений.

Технические устройства (усилители электрических сигналов, устройства кодирования и декодирования сигналов и др.) размещают в промежуточных (усилительных или переприёмных) и оконечных пунктах связи.

В качестве тракта передачи пользуются разнообразными линиями – проводными, радио и радиорелейными, радиоволноводными и т.д., и в связи с этим в качестве *каналов связи* в телеметрии используются:

-проводная и телефонная связь (воздушная и кабельная);

-оптические каналы связи;

-радиосвязь в широком диапазоне длин волн, в том числе спутниковая (сотовая) связь;

-в редких случаях гидроакустическая связь.

Выбор канала и диапазона частот зависит от решаемой задачи, вида объекта и среды его эксплуатации (влажная или агрессивная среда), технических требований к аппаратуре, вида передаваемой информации и других факторов.

Наибольшее применение в телеметрии находит радиоканал, оптическая и проводная связь, и в меньшей степени гидроакустическая связь.

Применение оптической и акустической линий связи ограничено главным образом сильным поглощением оптических и акустических волн средой, в которой они распространяются*.*

В настоящее время определенное место в телеметрии занимает сотовая связь, как составная часто радиоканала.

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/058/431.htm).

**2.** **Обобщенная схема каналов передачи данных**

Обобщенная схема каналов передачи данных выглядит следующим образом.

Передатчик преобразует сообщения в сигналы, подаваемые затем на вход канала связи. По принятому сигналу на выходе канала связи приёмник воспроизводит переданное сообщение.

Передатчик, канал связи и приёмник образуют систему связи, или систему передачи информации (рис. 1).



Рис. 1. Система передачи информации

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/058/431.htm).

За последние двадцать лет пропускная способность каналов выросла с 56 кбит/c до 1 Гбит/с. Разработаны технологии, способные работать в случае оптических кабелей со скоростью 50 Тбит/с. Вероятность ошибки при этом сократилась с 10-5 на бит до пренебрежимо низкого уровня. Современный же лимит в несколько Гбит/с связан главным образом с тем, что люди не научились делать быстродействующие преобразователи электрических сигналов в оптические (http:// docs.luksian.com/networks/techs/intro/).

**3.** **Виды и основные характеристики сетей передачи данных**

По назначению системы, в состав которой входят каналы связи, различают каналы:

-телефонные,

-звукового вещания,

-телевизионные,

-фототелеграфные (факсимильные),

-телеграфные, телеметрические,

-телекомандные,

-передачи цифровой информации.

По характеру сигналов, передачу которых каналы связи обеспечивают, различают каналы:

-непрерывные и

-дискретные как по значениям, так и по времени.

В общем случае канал связи имеет большое число входов и выходов, т.н. уплотнённый канал связи (*Многоканальная связь*)*,* и может обеспечивать двустороннюю передачу сигналов.

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/058/431.htm).

*Дополнительная литература:*

Назаров М.В., Кувшинов Б.И., Попов О В. Теория передачи сигналов, М., 1970.

***Линия связи*** – совокупность технических устройств и физической среды, обеспечивающая распространение сигналов от передатчика к приёмнику.

Линия связи является составной частью канала связи (канала передачи). Иногда в состав канала связи включается несколько линий связи (на различных участках протяжённого канала связи используются кабельные, радиорелейные и другие линии связи). Чаще одна и та же линия связи применяется для передачи сигналов, принадлежащих нескольким каналам связи (*уплотнение линии связи*)*.*

В зависимости от характера сигналов, используемых для передачи сообщений, различают линии связи:

-электрические,

-звуковые (акустические) и

-оптические

(http:// www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/070/469.htm).

**4.** **Проводные линии**

**4.1. Общая характеристика проводных линий**

На ранних этапах развития электрической связи физической средой служила пара проводов, соединявшая передатчик и приёмник (проводная связь).

(Позже, с появлением систем беспроволочной связи (радиосвязи), линии связи стали определять как совокупность передающей, приёмной антенн и среды, в которой происходит распространение радиоволн).

Основная характеристика таких линий связи – диапазон рабочих частот, обеспечивающих передачу сигналов с допустимым ослаблением.

По линиям связи с применением стальных проводов можно передавать сигналы с частотами до 25-30 кГц по воздуху.

Линии связи с применением проводов из цветных металлов – до 140‑150 кГц, по симметричному кабелю – до 500-550 кГц, по коаксиальному кабелю – до 12-15 МГц.

Магистральные коротковолновые линии связи работают в диапазоне частот 3-30 МГц, волноводные – на частотах нескольких сотен МГц и десятков ГГц и т.д.

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/070/469.htm).

*М. В. Назаров.*

*Дополнительная литература:*

1. Куликов В.В. Современные системы беспроводной дальней связи, М., 1968.

2. Калашников Н.И. Системы связи через искусственные спутники Земли, М., 1969.

3. Назаров М.В., Кувшинов Б.И., Попов О.В. Теория передачи сигналов, М., 1970.

4. Дальняя связь, под ред. А. М. Зингеренко, М., 1970.

**4.2. Кабельные каналы** (http:// docs.luksian.com/networks/techs/intro/)

Кабельные каналы для целей телекоммуникаций исторически использовались первыми. Да и сегодня по суммарной длине они превосходят даже спутниковые каналы.

Основную долю этих каналов, насчитывающих многие сотни тысяч километров, составляют телефонные медные кабели. Эти кабели содержат десятки или даже сотни скрученных пар проводов. Полоса пропускания таких кабелей обычно составляет 3-3,5 кГц при длине 2-10 км. Эта полоса диктовалась ранее нуждами аналогового голосового обмена в рамках коммутируемой телефонной сети.

С учетом возрастающих требований к широкополосности каналов скрученные пары проводов пытались заменить коаксиальными кабелями, которые имеют полосу от 100 до 500 МГц (до 1 Гбит/с), и даже полыми волноводами. Именно коаксиальные кабели вначале стали транспортной средой локальных сетей ЭВМ (10base-5 и 10base-2; рис. 3.1.1).



Рис. 3.1.1. Устройство коаксиального кабеля:

1 – центральный проводник; 2 – изолятор;

3 – проводник-экран; 4 – внешний изолятор

Коаксиальная система проводников из-за своей симметричности вызывает минимальное внешнее электромагнитное излучение. Сигнал распространяется по центральной медной жиле, контур тока замыкается через внешний экранный провод.

При заземлении экрана в нескольких точках по нему начинают протекать выравнивающие токи (ведь разные земли обычно имеют неравные потенциалы). Такие токи могут стать причиной внешних наводок (иной раз достаточных для выхода из строя интерфейсного оборудования), именно это обстоятельство является причиной требования заземления кабеля локальной сети только в одной точке.

Наибольшее распространение получили кабели с волновым сопротивлением 50 Ом. Это связано с тем, что эти кабели из-за относительно толстой центральной жилы характеризуются минимальным ослаблением сигнала (волновое сопротивление пропорционально логарифму отношения диаметров внешнего и внутреннего проводников). Но по мере развития технологии скрученные пары смогли вытеснить из этой области коаксиальные кабели. Это произошло, когда полоса пропускания скрученных пар достигла 200-350 МГц при длине 100 м (неэкранированные и экранированные скрученные пары), а цены на единицу длины сравнялись.

Скрученные пары проводников позволяют использовать биполярные приемники, что делает систему менее уязвимой (по сравнению с коаксиальными кабелями) к внешним наводкам. Но основополагающей причиной вытеснения коаксиальных кабелей явилась относительная дешевизна скрученных пар. Скрученные пары бывают одинарными, объединенными в многопарный кабель или оформленными в виде плоского ленточного кабеля.

Применение проводов сети переменного тока для локальных сетей и передачи данных допустимо для весьма ограниченных расстояний. В таблице 3.1.1 приведены характеристики каналов, базирующихся на обычном и широкополосном коаксиальном кабелях.

Таблица 3.1.1. Характеристики каналов, базирующихся на обычном и широкополосном коаксиальном кабелях

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели | Стандартный кабель | Широкополосный |
| Максимальная длина канала | 2 км | 10 км |
| Скорость передачи данных | 1 Мбит/с | 1000 Мбит/с |
| Режим передачи | полудуплекс | дуплекс |
| Ослабление влияния электромагнитных и радиочастотных наводок | 50 дБ | 85 дБ |
| Число подключений | < 50 устройств | 1500 каналов с одним или более устройств на канал |
| Доступ к каналу | CSMA/CD | FDM/FSK |

На рис. 3.1.2 показана зависимость ослабления кабеля (внешний диаметр 0,95 см) от частоты передаваемого сигнала.



Рис. 3.1.2. Зависимость ослабления сигнала в кабеле от его частоты

В таблице 3.1.2 приведены удельные сопротивления используемых сетевых кабелей. Произведя измерение сопротивления сегмента, вы можете оценить его длину.

Таблица 3.1.2. Сопротивление кабеля по постоянному току

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Коаксиал | Ом/сегмент | Максимальная длина сегмента, м |
| 10BASE5 | 5 | 500 |
| 10BASE2 | 10 | 185 |

|  |  |
| --- | --- |
| Скрученная пара | Ом/100 м |
| 24 AWG | 18,8 |
| 22 AWG | 11,8 |

Данные, приведенные в таблице, могут использоваться для оперативной предварительной оценки качества кабельного сегмента (соответствует стандарту EIA/TIA 568, 1991 год).

Частотные характеристики неэкранированных пар категории 6 представлены в табл. 3.1.3.

Таблица 3.1.3. Параметры неэкранированных пар категории 6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Частота, МГц | Затухание, дБ/100м | NEXT, дБ | ACR, дБ/100 м |
| 1 | 2,3 | 62 | 60 |
| 10 | 6,9 | 47 | 41 |
| 100 | 23,0 | 38 | 23 |
| 300 | 46,8 | 31 | 4 |

*Примечания*:

1. NEXT (Near End Cross Talk) – перекрестные наводки ближнего конца кабеля.

2. ACR (Attenuation-to Crosstalk Ratio) – отношение ослабления к относительной величине перекресных наводок.

Кабели, изготовленные из скрученных пар категории 5 (волновое сопротивление 100,15 Ом), с полосой 100 МГц обеспечивают пропускную способность при передаче сигналов ATM 155 Мбит/с. При 4 скрученных парах это позволяет осуществлять передачу до 622 Мбит/с. Кабели категории 6 сертифицируются до частот 300 Мгц, а экранированные и до 600 Мгц (волновое сопротивление 100 Ом). В таблице 3.1.4 приведены данные по затуханию и перекрестным наводкам кабеля с 4-мя скрученными экранированными парами (S-FTP). Такой кабель пригоден для передачи информации со скоростью более 1 Гбит/с.

Таблица 3.1.4. Данные по затуханию и перекрестным наводкам кабеля с 4-мя скрученными экранированными парами

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Частота, МГц | Затухание, дБ/100м | NEXT, дБ | ACR, дБ/100 м |
| 1 | 2,1 | 80 | 77,9 |
| 10 | 6,0 | 80 | 74 |
| 100 | 19,0 | 70 | 51 |
| 300 | 33,0 | 70 | 37 |
| 600 | 50 | 60 | 10 |

На рис. 3.1.3 показана зависимость наводок на ближнем конце кабеля, содержащего скрученные пары, от частоты передаваемого сигнала.



Рис. 3.1.3. Зависимость наводок NEXT от частоты передаваемого сигнала

На рис. 3.1.4 представлена зависимость ослабления сигнала в неэкранированной скрученной паре (именно такие кабели наиболее часто используются для локальных сетей) от частоты передаваемого сигнала. Следует иметь в виду, что при частотах в области сотен мегагерц и выше существенный вклад начинает давать поглощение в диэлектрике. Таким образом, даже если проводники изготовить из чистого золота, существенного продвижения по полосе пропускания достичь не удастся.



Рис. 3.1.4. Зависимость ослабления сигнала от частоты для неэкранированной скрученной пары

Для неэкранированной скрученной пары 5-ой категории зависимость отношения сигнал-шум от длины с учетом ослабления и наводок NEXT показана на рис. 3.1.5.



Рис. 3.1.5 Зависимость отношения сигнал/шум от частоты с учетом ослабления и наводок на ближнем конце кабеля

Характеристики неэкранированных скрученных пар американского стандарта 24 AWG (приведены характеристики кабелей, используемых при построении локальных сетей) для кабелей различной категории собраны в таблице 3.1.5.

Таблица 3.1.5. Характеристики неэкранированных скрученных пар американского стандарта 24 AWG

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Категория кабеля | Сопротивление по постоянному току (L=300м) | Ослабление, дБ | NEXT, дБ |
| III | 28,4 | 17 @ 4 МГц30 @ 10 МГц40 @ 16 МГц | 32 @ 4 МГц26 @ 10 МГц23 @ 16 МГц |
| IV | 28,4 | 13 @ 4 МГц22 @ 10 МГц27 @ 16 МГц31 @ 20 МГц | 47 @ 4 МГц41 @ 10 МГц38 @ 16 МГц36 @ 20 МГц |
| V | 28,4 | 13 @ 4 МГц20 @ 10 МГц25 @ 16 МГц28 @ 20 МГц67 @ 100 МГц | 53 @ 4 МГц47 @ 10 МГц44 @ 16 МГц42 @ 20 МГц32 @ 100 МГц |

Подводя итоги можно сказать, что при расстояниях до 100 метров с успехом могут использоваться скрученные пары и коаксиальные кабели, обеспечивая полосу пропускания до 150 Мбит/с, при больших расстояниях или более высоких частотах передачи оптоволоконный кабель предпочтительнее. Следует заметить, что работа с кабелями предполагает необходимость доступа к системе канализации (иногда это требует специальных лицензий; а там часто размещаются усилители-повторители). Кабельное хозяйство требует обслуживания. В этом отношении радиоканалы предпочтительнее, ведь случаев коррозии электромагнитных волн не зарегистрировано, да и крысы их не грызут.

Лекция 4

Радиоканал

1. Характеристика электромагнитных излучений и место радиоканала в шкале электромагнитных излучений.

2. Особенности излучения электромагнитных колебаний в свободном пространстве.

3. Излучение радиоволн внутри проводящих сред.

4. Условия передачи телеметрической информации по радиоканалу.

**1. Характеристика электромагнитных излучений и место радиоканала в шкале электромагнитных излучений**

*Литература: Штернов А.А. Физические основы конструирования, технологии РЭА и микроэлектроники: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1981. –248 с., ил.*

*На стр.112 представлен «Электромагнитный спектр излучения».*

Прежде чем перейти к рассмотрению канала радиосвязи вспомним в упрощенном виде шкалу ЭМИ (рис.1). ЭМИ занимают длины волн от 0,005 нм (рентгеновское излучение) до нескольких сот и тысяч километров, которым соответствуют частоты низкого звукового диапазона (*F* < 100-500 Гц).



Рис.1. Шкала ЭМИ

Более подробно классификация диапазонов и частотные характеристики ЭМИ представлены в табл.1.

Таблица 1. Частотная характеристика ЭМИ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Диапазон излучения и поддиапазоны | Длина волны или ее частота |
| Иониз.излуч. | 1.α, β, γ-излучение Рентгеновское излучение | 0,005-10 нм |
| Оптический диапазон | 2.УФ  Коротковолновое Средневолновое Длинноволновое | 10-400 нм10-280 нм280-315 нм315-400 нм |
| 3.Видимый свет Фиолетовый Красный | 0,4-0,8 мкм0,40,8 |
| 4.Инфракрасный (ИК) диапазон: Ближний ИК Средний ИК Дальний ИК | 0,9-300 мкм (1000 ГГц)0,9-3,03,0-1010-300 |
| Радио диапазон | 5.Весь радиодиапазон: СВЧ  УКВ  Высокие частоты (короткие волны-КВ) Средние частоты (средние волны-СВ) Низкие частоты (длинные волны-ДВ) | 100 кГц-300ГГц>150 МГц 50-150 МГц1,5-30 МГц200-1000 кГц100-200 кГц. |
| Низко частотные волны | 6.Звуковые частоты: Гиперзвук Ультразвук (УЗ) Звуковые волны (звуковые частоты) Инфразвук  | >10 МГц10-2000 кГц16-18000 Гц0,01-16 Гц |
| 7.Промышленные частоты | 50-60 Гц |
| 8.Низкие частоты |  |
| 9.Инфранизкие частоты |  |

Согласно табл.1 длина волны излучения в оптическом диапазоне измеряется в нм и мкм, в радиодиапазоне ЭМИ характеризуется его частотой в кГц, МГц, ГГц, а в звуковом диапазоне – Гц (так традиционно сложилось и так размечены шкалы приборов).

При переходе к традиционному радиодиапазону, который сложился в ХХ веке используемые диапазоны характеризуются волнами (УКВ, КВ, СВ, ДВ). Спектр используемых волн делится на ряд диапазонов, приведенных в таблице 3.3.1 (http:// docs.luksian.com/networks/techs/intro/).

Таблица 3.3.1. Спектр используемых электромагнитных волн

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер | Название диапазона | Частота | Длина волны |
| 1 | Высокочастотный | 3 МГц | 100 м |
| 2 | VHF | 50 – 100 Мгц | 6 – 3 м |
| 3 | УВЧ (UHF) | 400 – 1000 МГц | 75 – 30 см |
| 4 | Микроволновый | 3⋅109 – 1011 Гц | 10 см – 3 мм |
| 5 | Миллиметровый | 1011 – 1012 Гц | 3 мм – 0,3 мм |
| 6 | Инфракрасный | 1012 – 6⋅1014 | 0,3 мм – 0,5 μ |

Радиодиапазон практически занимает порядка от 100-150 кГц до 100-300 ГГц. Вещание в Польше, Чехии осуществляется на *f* =110-120 кГц.

Далее следуют диапазоны видимого света, ультрафиолета, рентгеновских и гамма-лучей. Диапазоны часто, используемые различными каналами связи показаны на рис. 3.3.1.



Рис. 3.3.1. Диапазоны частот различных телекоммуникационных каналов

**Перевод частоты ЭМИ в длину волны и период колебания**

Для перевода частоты *f* электромагнитных излучений в длину волны λ используют формулу:

,

где *с* – скорость света в вакууме, *с* = 2,99792 · 108 м/с

(округленно, *с* = 300 000 000 м/с).

Пример расчета для *f* =100 МГц:

.

Для вычисления периода колебаний *Т* применяют формулу:

.

Пример расчета для *f* =1 кГц:

.

Чтобы иметь представление о параметрах используемой частоты приведем таблицу перевода частоты ЭМИ в длину волны и период колебания (табл.2).

###### Таблица 2

##### Таблица перевода частоты в длину волны и период ее колебания

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Частота *f* | Длина волны λ | Период Т |
| 1 Гц | 300 000 км | 1 с |
| 10 Гц | 30 000 км | 100 мс |
| 100 Гц | 3000 км | 10 мс |
| 1000 Гц = 1 кГц  | 300 км | 1 мс |
| 10 кГц | 30 км | 0,1 мс |
| 100 кГц | 3 км | 0,01 мс |
| 1000 кГц = 1 МГц | 300 м | 0,001 мс = 1 мкс |
| 10 МГц | 30 м | 0,1 мкс |
| **100 МГц** | **3 м** | **10 нс** |
| 1000 МГц = 1 ГГц | 30 см = 3 дм | 1 нс |
| 10 ГГц | 3 см | 0,1 нс |
| 100 ГГц | 3 мм | 1⋅10–11 с |
| 1000 ГГц = 1 ТГц | 0,3 мм | 1⋅10–12 с |
|  |  |  |
| 300 кГц | 1000 м | 3 мкс |
| 3 МГц | 100 м | 0,3 мкс |
| 30 МГц | 10 м | 30 нс |
| 300 МГц | 1 м | 3 нс |
| 3 ГГц | 10 см | 0,3 нс |
| 30 ГГц | 1 см | 3⋅10–11 с |
| 300 ГГц | 1 мм | 3⋅10–12 с |

В современной физике широко применяется смешанная шкала ЭМИ с переходом (единиц измерения) от длины волны к частоте. Шкала начинается от 0,01 нм и завершается 0,3 Гц.

Более подробное графическое представление шкалы ЭМИ в логарифмическом масштабе показано на рис.1 (составил NRG).



#### Рис.1. Графическое представление шкалы ЭМИ

###### Приложение к лекции № 2

Множители для образования десятичных кратных и дольных единиц

([10\*], стр.200)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Множитель | Русское обозначение | Международное обозначение |
| Экса | 1018 | Э | E |
| Пета | 1015 | П | P |
| Тера | 1012 | Т | T |
| Гига | 109 | Г | G |
| Мега | 106 | М | M |
| Кило | 103 | к | K |
| Гекто | 102 | г | H |
| Дека | 10 | да | Da |
| Деци | 10—1  | д | D |
| Санти | 10—2  | с | C |
| милли | 10—3  | м | M |
| микро | 10—6  | мк | μ |
| нано | 10—9  | н | N |
| пико | 10—12  | п | P |
| фемто | 10—15  | ф | F |
| атто | 10—18  | а | A |

**2. Особенности излучения электромагнитных колебаний в свободном пространстве**

Одним из широко применяемых каналов связи в телеметрии является радиоканал.

Применение электромагнитных волн для телекоммуникаций имеет уже столетнюю историю. В первых опытах передачи сигналов при помощи радиоволн осуществленных Александром Степановичем Поповым в 1895-99 годах, использовались радиоволны с длиной волны 200…500 *м* (частоты от 1,5…0,6 МГц). Дальнейшее развитие радиотехники привело к использованию более широкого спектра электромагнитных волн.

Для передачи информации в телеметрических системах обычно используют УКВ (диапазон в области, захватывающей частоты 50-300 МГц). Ныне осваивают диапазоны УВЧ в пределах 902-928 МГц. По длине волн – это метровый и дециметровый диапазоны.

Выбор частоты излучения ПРД определяется его техническими характеристиками:

-массой ПРД,

-типом антенны,

-дальностью связи,

а также средой, в которой находится объекта изучения (воздух, вода, почва).

Чем выше частота работы ПРД, тем меньше длина волны излучения и, соответственно, может быть выбрана меньшая по длине антенна (пояснить шире). Это дает определенные преимущества, поскольку трудно обеспечить неподвижность большой антенны.

Таким образом, ЭМИ модулируется за счет изменения емкости антенны, а также за счет изменения условий распространения радиоволн.

В зависимости от типа модуляции генератора несущей частоты различают, в основном, АМ, ЧМ и ФМ радиосигналы (в военных целях и спецслужбами применяется КИМ – короткоимпульсная модуляция).

Поскольку в ПРД первичный сигнал модулирует поднесущую частоту, то в БТС применяются типы модуляции: АМ-ЧМ, ЧМ-ЧМ, АМ-ФМ (например, в системе АМ-ЧМ поднесущая частота подвергается АМ, а несущая – ЧМ).

Напряженность электрического поля в зоне приема сигнала может быть приближенно вычислена по формуле:

,

где *Im*– амплитуда тока в антенне; *lд* – действующая длина излучения в метрах;λ*в* – длина волны ПРД; *Rд* – расстояние от ПРД до ПРМ; θ*н* – коэффициент, характеризующий направленные свойства антенны.

Если не используется направленная антенна и на пути нет препятствий, радиоволны распространяются по всем направлениям равномерно и сигнал падает пропорционально квадрату расстояния между передатчиком и приемником (удвоение расстояния приводит к потерям 6дБ).

Антенна может иметь круговую диаграмму направленности или диаграмму типа эллипса. В динамической телеметрии зачастую предпочтение отдают антеннам с *круговой* диаграммой направленности, так как объект может принимать разные положения в пространстве. Выбор антенны по направленности зависит и от рабочего расстояния *Rд*.

Простейшая антенна с круговой диаграммой направленности – это штырь, подсоединенный к контуру генератора через петлю связи.



Для чего нужна петля связи? Петля связи нужна для того, чтобы не шунтировать контур и обеспечить его узкополосность.

Допустим, у нас ПРД работает на частоте 100 МГц (λ = 3 м). Полуволновой вибратор должен иметь длину в 1,5 метра (это оптимальная длина). Поскольку такую длину обеспечить нереально, то энергия излучения небольшими антеннами меньше. Соответственно, телеметрическая система имеет меньшую дальность. В этом случае качество сигнала повышают за счет избирательности приемной антенны ПРМ.

**3.** **Излучение радиоволн внутри проводящих сред**

В водной среде происходит значительное поглощение энергии ЭМИ. Сравним степень затухания β радиоволн в различных средах.

1.Степень затухания β радиоволн ***в воздушной среде*** может быть приближенно описана выражением:

,

где *q* – проводимость среды,

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды (табл.1).

Как видим, степень затухания не зависит от частоты.

##### **Таблица 1. Значения ε и *q* для разных сред**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Среда | ε | Проводимость *q*, … |
| 1 | Воздух | 1,0 | 10<−5 |
| 2 | Сухая почва | 5 | 10−3 |
| 3 | Влажная почва | 10 | 10−2 |
| 4 | Снег | 1,4 | 10−3 |
| 5 | Лед | 3,2 | 10−3 |
| 6 | Пресная вода | 80 | 10−1 |
| 7 | Морская вода | 80 | 4 |
| 8 | Некоторые жидкости | 2 – 2,5 |  |
| 9 | Ткани биообъектов | 80 | 0,4 |

2.Степень затухания радиоволн в среде с высокой электропроводностью (***вода, почва***) может быть вычислена по формуле

,

где λ - длина волны.

Как видим, коэффициент затухания радиоволн находится в прямой зависимости от электропроводности (ЭП) среды и в обратной от длины волн.

*Пример расчета*: Если *F* = 100 МГц, то λ=3 м. При *q* = 4 (вода) имеем:

.

Следовательно, с ростом ЭП среды следует применять более низкие частоты.

В связи с этим, при использовании микроволнового, миллиметрового и инфракрасного диапазонов следует иметь в виду, что любые препятствия на пути волн приведут к их практически полному поглощению. Для этих диапазонов заметное влияние оказывает и поглощение в атмосфере. Зависимость поглощения от длины волны радиоволн показана на рис. 3.3.1а.



Рис. 3.3.1а. Зависимость поглощающей способности земной атмосферы от длины волны

Из рисунка видно, что заметную роль в поглощении радиоволн играет вода. По этой причине сильный дождь, град или снег могут привести к прерыванию связи. Поглощение в атмосфере ограничивает использование частот более 30 ГГц. Атмосферные шумы, связанные в основном с грозовыми разрядами, доминируют при низких частотах вплоть до 2 МГц. Галактический шум, приходящий из-за пределов солнечной системы дает существенный вклад вплоть до 200 ГГц. Зависимость поглощения радиоволн в тумане и дожде от частоты показана на рис. 3.3.2.



Рис. 3.3.2. Зависимость поглощения радиоволн в тумане и дожде от частоты

**4.** **Условия передачи телеметрической информации по радиоканалу**

Для передачи информации на большие расстояния в настоящее время используются исключительно электромагнитные волны (акустические волны пригодны лишь для ограниченных расстояний), и в связи с этим к передаче телеметрической информации по радиоканалу требуются следующие условия:

*1.Частотный диапазон.*

Частотным диапазоном определяется пропускная способность и дальность передачи. Ранее было отмечено, что радиоканалы для целей передачи информации используют частотные диапазоны 902-928 МГц (расстояния до 10 км, пропускная способность до 64кбит/с), 2,4 ГГц и 12 ГГц (до 50 км, до 8 Мбит/с).

Они используются там, где не существует кабельных или оптоволоконных каналов или их создание по каким-то причинам невозможно или слишком дорого. Более низкие частоты (например, 300 МГц) мало привлекательны из-за ограничений пропускной способности, а большие частоты (>30 ГГц) работоспособны для расстояний не более или порядка 5 км из-за поглощения радиоволн в атмосфере.

*2. Мощность передатчика.*

Мощность передатчика обычно лежит в диапазоне 50 мВт - 2 Вт. Модемы, как правило, используют шумоподобный метод передачи SST (spread spectrum transmission).

*3. Прямая видимость между приемником и передатчиком для устройств, работающих на частотах 2,4 ГГц и выше.*

Для устройств на частоты 2,4 ГГц и выше, как правило, используются направленные антенны и необходима прямая видимость между приемником и передатчиком. Такие каналы чаще работают по схеме «точка-точка», но возможна реализация и многоточечного соединения.

На аппаратном уровне для обеспечения работы сетей (типа Интернет) здесь могут использоваться радиорелейное оборудование радиомодемы или радио-бриджи. Схема этих устройств имеет много общего. Отличаются они лишь сетевым интерфейсом (см. рис. 3.3.3).



Рис. 3.3.3. Схема оборудования радиоканала передачи данных

Антенна служит как для приема, так и для передачи. Трансивер (приемопередатчик) может соединяться с антенной через специальные усилители. Между трансивером и модемом может включаться преобразователь частот. Модемы подключаются к локальной сети через последовательные интерфейсы типа RS-232 или v.35 (RS-249). Для многих из них такие интерфейсы являются встроенными.

Отечественное радиорелейное оборудование имеет в качестве выходного интерфейс типа G.703 и по этой причине нуждается в адаптере. Радио-бриджи имеют встроенный Ethernet-интерфейс. Длина кабеля от модема до трансивера лежит в пределах 30-70 м, а соединительный кабель между модемом и ЭВМ может иметь длину 100-150 м. Трансивер располагается обычно рядом с антенной.

Схемы соединения радиомодемов и традиционных модемов совершенно идентичны (см. рис. 3.3.4).



Рис. 3.3.4. Схема подключения радио-модемов

Кроме уже указанных примеров перспективным полем применения радиомодемов могут стать подвижные ЭВМ. Сюда следует отнести и все случаи, когда ЭВМ по характеру своего применения подвижна, например, управление светотехническим оборудованием, медицинская диагностика на выезде, оперативная диагностика сложного электронного оборудования, когда необходима связь с базовым отделением фирмы, геологические или геофизические исследования и т.д.

Радиомодемы позволяют сформировать сеть быстрее (если не считать времени на аттестацию оборудования, получение разрешения на выбранную частоту и лицензии на использование данного направления канала). В этом случае могут стать доступными точки, лишенные телефонной связи (что весьма привлекательно для условий России). Подключение объектов к центральному узлу осуществляется по звездообразной схеме. Заметное влияние на конфигурацию сети оказывает ожидаемое распределение потоков информации. Если все объекты, подключенные к узлу, примерно эквивалентны, а ожидаемые информационные потоки не велики, можно в центральном узле обойтись простым маршрутизатором, имеющим достаточное число последовательных интерфейсов.

(*Дополнительный материал*.

Применение радио-бриджей особенно выигрышно для организаций, имеющих здания, отстоящие друг от друга на несколько километров. Возможно использование этих средств связи и для подключения к сервис-провайдеру, когда нужны информационные потоки до 2 Мбит/с (например, для проведения видео конференций). Если расстояния не велики (<5км), можно воспользоваться всенаправленной антенной (см. рис. 3.3.5).



Рис. 3.3.5. Схема подключения объектов через радио-бриджи с помощью всенаправленной антенны

Все соединяемые объекты (А, Б, В, и Г) должны быть оснащены радио-бриджами. Такая схема подключения эквивалентна с одной стороны кабельному сегменту ethernet, так как в любой момент времени возможен обмен лишь между двумя объектами; с другой стороны радио-бриджи А, Б, В и Г логически образуют много портовый бридж (или переключатель), что исключает загрузку локальных сетей объектов ужимиакетами. Модификации таких схем связи позволяют строить телекоммуникационные системы по схеме сотовых телефонных сетей).

*4. Возможность взаимного влияния каналов.*

При построении каналов на основе радиорелейных систем (или радио-бриджей) следует учитывать возможность их взаимного влияния (см. рис. 3.3.6). Проектируя такие каналы в городе и используя направленные параболические антенны, нужно учитывать возможные помехи от зданий и профиля местности. Направленная антенна с площадью *А* обеспечивает усиление сигнала:

,

где *А* – площадь направленной антенны; λ – длина волны несущей.

Угол излучения θ такой антенны с радиусом *R* равен 0,61 λ/R. Отсюда видно, что чем больше радиус, тем больше усиления и уже угол излучения и чувствительности.

(*Дополнительный материал*.

Предельные расстояния для радио каналов приводятся поставщиками в предположении, что в пределах первой зоны Френеля каких-либо физических помех нет. При звездообразной схеме каналов (как на рис. 3.6.) нужно по возможности выполнить требования на минимальное расстояние между принимающими антеннами D (оно должно быть больше определенного значения, зависящего от апертуры антенны и расстояния между передатчиком и приемником).



Рис. 3.3.6.

Это расстояние определяется расходимостью α радиолуча и используемой длиной волны. Если это требование не выполнимо, следует в смежных каналах использовать разные длины волн. Диаграмма излучения направленной антенны показана на рис. 3.3.7 (стрелкой отмечено основное направление излучения). Эту диаграмму следует учитывать при выборе места установки антенны, особенно при использовании большой мощности излучения. Иначе один из лепестков излучения может прийтись на места постоянного пребывания людей (например, жилье). Учитывая эти обстоятельства, проектирование такого рода каналов целесообразно поручить профессионалам).



Рис. 3.3.7. Диаграмма излучения параболической антенны

Стоимость антенного комплекса обычно пропорциональна кубу диаметра антенны. Стандартная антенна intelsat имеет диаметр 30 м и угол излучения 0,01°.

Использован: http:// docs.luksian.com/networks/techs/intro/