

Модуль 2-« Основы телекоммуникаций»

Лекция 8. Тема2 – «Виды сообщений и их характеристики»

Содержание: Принципы преобразования аналоговых сообщений в цифровую форму (дискретизация по времени, квантование по уровню, кодирование)
Содержание:

1. Виды сообщений и их характеристики.
2. Принципы преобразования аналоговых сообщений в цифровую форму (дискретизация по времени, квантование по уровню, кодирование) и обратно (декодирование и интерполяция).
3. Понятие о сжатии информации.
4. Международные стандарты аналого-цифрового преобразования и сжатия аудио и визуальной информации.
5. Виды сигналов и помех в телекоммуникационных системах и их математические модели.

Виды сообщений и их характеристики.

Совокупность сведений о каком-либо объекте или событии называется **информацией**.

Хранение, обработка и преобразование информации осуществляется с помощью определенных символов, в качестве которых могут быть буквы алфавита, математические знаки, рисунки, временные диаграммы.

Совокупность символов содержащих информацию, называется **сообщением**.

Например при телеграфной передаче информация представляется в виде букв и цифр, а сообщением является текст телеграммы.

В телефонных системах связи сообщением является речь, т.е. непрерывное изменение звукового давления. В настоящее время широко используется представление информации в двоичной форме, т.е. двумя условными символами. Сообщение при этом представляется в виде последовательности конечного числа двоичных символов.

Для передачи сообщений от источника к получателю используют физические процессы, например, звуковые и электромагнитные волны, электрический ток или напряжение. Физический процесс, отображающий сообщение называется сигналом.

Сигналы могут быть электрической и неэлектрической природы. Последние для передачи сообщений в радиотехнических системах связи преобразуются в электрические колебания с помощью преобразователей: микрофонов, передающих телевизионных трубок, датчиков температуры или давления и т.п.

Эти электрические колебания называют **первичными сигналами**.

В зависимости от характера изменения сигнала во времени различают сигналы:

- непрерывные по уровню и по времени (рисунок 1 а);
- непрерывные по уровню и дискретные по времени (рисунок 1 б);
- дискретные по уровню и по времени (рисунок 1 г);
- дискретные (квантованные) по уровню и непрерывные по времени (рисунок 1 в).

Сигналы первого вида, называемые **непрерывными**, задаются на конечном или бесконечном временном интервале и *могут принимать любые значения в некотором диапазоне*. Примером таких сигналов являются сигналы на выходах микрофона, датчиков температуры, давления, положения и т.п. Являясь электрическими моделями физических величин, такие сигналы часто называются аналоговыми.

Сигналы второго вида **задаются в определенные дискретные моменты времени** и могут принимать любые значения из некоторого диапазона. Их можно получить из непрерывных сигналов путем взятия отсчетов в определенные моменты.

Это преобразование называется *дискретизацией во времени*. Шаг дискретизации T_d (промежуток времени между двумя соседними отсчетами) может быть как постоянным, так и переменным. Обычно его значение выбирают, исходя из допустимой погрешности при восстановлении непрерывного сигнала по конечному числу его отсчетов.

Сигналы третьего вида, называемые **квантованными по уровню**, задаются на некотором временном интервале и характеризуются тем, что принимают только вполне определенное дискретные значения. Их можно *получить из непрерывных сигналов, применяя к ним операцию квантования по уровню*.

В результате этой операции *непрерывный сигнал заменяется ступенчатой функцией*. Шаг квантования Δx (расстояние между двумя соседними разрешенными уровнями) может быть как постоянным, так и переменным. Его обычно выбирают из условия обеспечения требуемой точности восстановления непрерывного сигнала из квантованного.

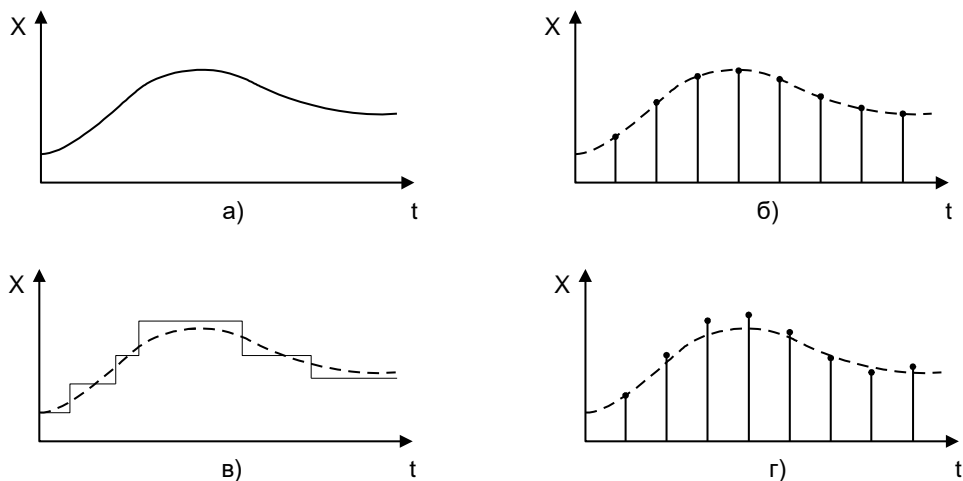


Рисунок 1

Сигналы четвертого вида, называемые **дискретными**, задаются в определенные дискретные моменты и принимают определенные дискретные значения. Их можно получить, например, из непрерывных сигналов, осуществляя операции дискретизации по времени и квантованию по уровню. Такие сигналы легко представить в цифровой форме, т.е. в виде чисел с конечным числом разрядов. По этой причине их часто называют цифровыми.

Аналогичная классификация возможна и для сообщений.

Сообщения, подлежащие передаче, являются или **случайной величиной**, или **случайной функцией**. Детерминированные (заранее известные) сообщения не содержат информации, и нет смысла их передавать.

Соответственно сигнал также следует рассматривать как случайный процесс.

Детерминированные сигналы не несут информацию. В технике связи они используются для изучения свойств различных радиотехнических цепей.

Множество возможных сообщений (сигналов) с заданным на нем распределением вероятностей называется **ансамблем сообщений (сигналов)**.

Под системой связи (рисунок 2) понимают совокупность технических средств, предназначенных для передачи информации, включая источник сообщений и получателя сообщений.

Источник сообщений - это устройство, осуществляющее выбор сообщений из ансамбля сообщений. Им может быть датчик, ЭВМ и т.п.

В зависимости от типа сообщений различают **дискретные и непрерывные источники**.

Учитывая, что первичные сигналы часто отождествляют с передаваемыми сообщениями, в дальнейшем под источником сообщений будем понимать источник первичных сообщений разной природы и преобразователь неэлектрической величины в электрическую.

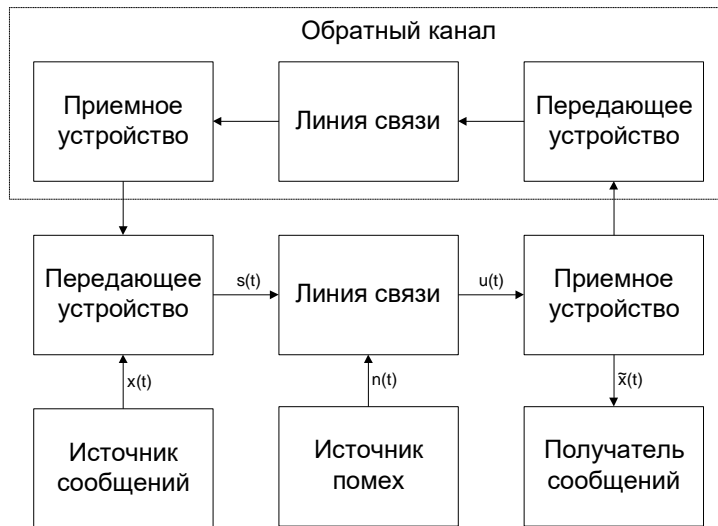


Рисунок 2

Передающее устройство предназначено для преобразования сообщения $x(t)$ в сигнал $s(t)$, который может распространяться по линии связи. В общем случае оно выполняет операции кодирования и модуляции (рисунок 3). При передаче непрерывных сообщений цифровыми методами передающее устройство осуществляет также операции *дискретизации по времени и квантования по уровню*.

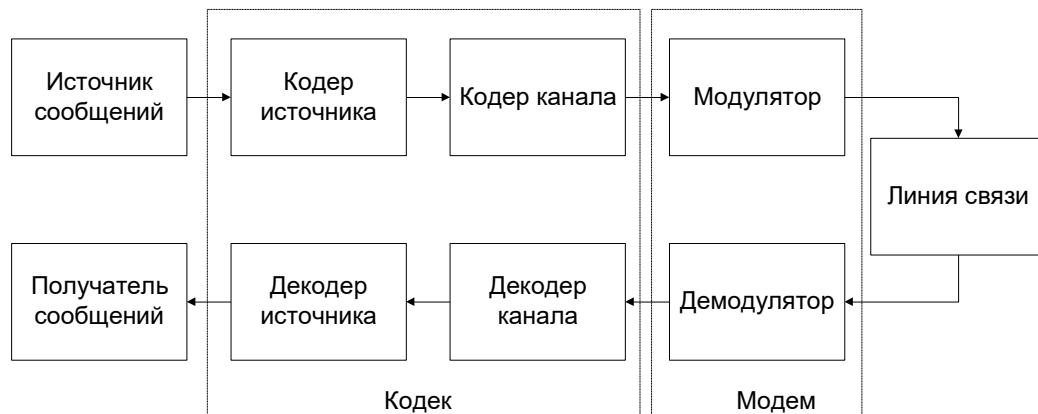


Рисунок 3

В узком смысле *кодирование представляет собой преобразование дискретного сообщения в последовательность кодовых символов, осуществляемое по определенному правилу*. Множество всех кодов последовательностей (кодовых комбинаций), возможных при данном правиле кодирования, образует код.

Совокупность символов, из которых составляются кодовые последовательности, называют **кодовым алфавитом**, а их число (объем кодового алфавита) - основанием кода. Число символов в кодовой комбинации может быть одинаковым или разным.

Соответственно *различают равномерные и неравномерные коды*. Число символов в кодовой комбинации равномерного кода называется длиной кода.

Одной из задач кодирования является согласование алфавита, в котором представлено сообщение, с алфавитом, в котором работает радиотехническая система передачи информации (РСПИ). В качестве примера рассмотрим передачу букв русского алфавита. Их число, как это принято в телеграфии, равно 32. В общем случае для передачи этих букв требуется 32 различных сигнала. Такая система связи оказывается весьма громоздкой и дорогостоящей. На практике обычно используют двоичные системы (системы с двумя сигналами). Для передачи 32 различных букв по такой системе связи необходимо предварительно преобразовать эти буквы в последовательность двоичных чисел, т.е. осуществить кодирование. В рассматриваемом случае каждой букве можно поставить в соответствие пятизначное двоичное число.

Один и тот же ансамбль сообщений можно закодировать различными способами. Очевидно, что наилучшим является код, при котором, во-первых, имеется возможность восстановления первоначального сообщения по кодовой комбинации, и, во-вторых, для представления одного сообщения в среднем требуется минимальное число символов. Первому требованию удовлетворяют **обратные коды**, у которых все кодовые комбинации различимы и однозначно связаны с соответствующими сообщениями. Код, удовлетворяющий второму требованию, называется **экономным**. Таким образом, для представления сообщений наилучшим является обратимый экономный код.

Кодирование позволяет повысить достоверность передачи информации. Предварительно отметим, что *все коды делятся на простые и помехоустойчивые*.

Простые коды состоят из всех возможных кодовых комбинаций. Поэтому превращение одного символа кодовой комбинации в другой из-за действия помех приводит к новой кодовой комбинации, т.е. к появлению не обнаруживаемой ошибки.

В помехоустойчивых кодах используется лишь некоторая часть из общего числа

возможных кодовых комбинаций. Благодаря этому появляется возможность обнаруживать и исправлять ошибки в принятых комбинациях, что и способствует повышению достоверности передачи информации.

В соответствии с задачами кодирования различают **кодирующее устройство (кодер)** для **источника** и **кодирующее устройство для канала** (рисунок 3). Задачей первого является экономное (в смысле минимума среднего числа символов) представление сообщений, а задачей второго - обеспечение достоверной передачи сообщений.

Первичные сигналы, как правило, низкочастотные. Их можно передавать лишь по проводам линии связи. Для передачи сообщений по радиопередающим линиям используют специальные колебания, называемые переносчиками. Они должны хорошо распространяться по линии связи. В РСПИ в качестве переносчиков используются высокочастотные колебания.

Сами переносчики не содержат информации о передаваемом сообщении. Для того чтобы заложить в них эту информацию, применяют операцию модуляции, которая заключается в изменении одного или нескольких параметров переносчика по закону передаваемого сообщения. Устройство, осуществляющее эту операцию, называется модулятором.

Линия связи - это среда, используемая для передачи сигналов. В радиопередающих средах служит часть пространства, в котором распространяются электромагнитные волны от передатчика к приемнику.

Основной задачей приемного устройства является выделение передаваемого сообщения из принятого сигнала $u(t)$. В общем случае это достигается выполнением над принятым сигналом операций демодуляции и декодирования.

Устройства, выполняющие эти операции, называются соответственно **демодулятором и декодером**.

Операция демодуляции заключается в *преобразовании принятого модулированного сигнала, искаженного помехами, в модулирующий сигнал*. В системах передачи непрерывных сообщений при аналоговой модуляции сигнал на выходе демодулятора совпадает с первичным сигналом, отображающим сообщение. Поэтому он без дальнейших преобразований поступает к получателю.

В системе передачи дискретных сообщений возможны два метода восстановления сообщений: поэлементный прием и прием в целом. В первом случае анализируются элементы принятого сигнала, соответствующие кодовым символам. При этом на выходе демодулятора появляется последовательность кодовых символов, которая затем подвергается декодированию для восстановления дискретного сообщения. Во втором случае анализируется целиком отрезок сигнала, соответствующий кодовой комбинации, и в соответ-

ствии с используемым критерием отождествляется с тем или иным дискретным сообщением. В таких системах операции демодуляции и декодирования совмещены и выполняются одним устройством.

*Часть приемного устройства, которое производит анализ входного сигнала и принимает решение о переданном сообщении, называется **решающей схемой**.*

В системах передачи *непрерывных сообщений* при аналоговой модуляции решающей схемой является **демодулятор**.

В системах передачи *дискретных сообщений* с поэлементным приемом можно указать две решающие схемы: **демодулятор и декодер**. В системах передачи дискретных сообщений, использующих метод приема в целом, решающей схемой является *устройство, осуществляющее операции демодуляции и декодирования*.

Получатель сообщений - это устройство (магнитофон, ЭВМ автомат и т.п.), для которого предназначено сообщение.

*Совокупность кодирующего и декодирующего устройств образуют подсистему, называемую **кодеком**. Совокупность модулятора и демодулятора образуют подсистему, называемую **модемом**.*

*Заданная совокупность технических средств передачи информации, включающая среду распространения, называется **каналом**.*

Конкретный *состав канала* определяется кругом решаемых задач. Так, в одних может состоять только из линий связи, в других - из модулятора, линии связи и демодулятора и т.п.

Существенным *недостатком рассмотренной системы* является то обстоятельство, что *передающая сторона не располагает информацией о степени соответствия принятых сообщений переданным*.

Обеспечение двусторонней связи между источником информации и получателем позволяет устранять этот недостаток. Для *двустороннего обмена информацией* помимо прямого канала необходим второй, **обратный канал** (рисунок 2). При этом информация, передаваемая по обратному каналу, может быть использована для увеличения достоверности передачи сообщений в прямом направлении.

*Системы связи, в которых применяется передача информации по обратному каналу для повышения достоверности передачи по прямому каналу, называются **системами с обратной связью**.*

В зависимости от характера передаваемой по обратному каналу информации и от способа ее использования *различают системы с управляющей и с информационной*

обратной связью.

В системах первого типа решающая схема приемника либо выносит решение о переданном сообщении и направляет его получателю, либо, если это сообщение оказывается сомнительным, принимает решение повторить его, о чем передающая сторона информируется по обратному каналу.

В системах второго типа приемная сторона информирует передающую по обратному каналу о том, какое сообщение им принято. Для этого используется либо **ретрансляция** восстановленного сообщения, либо передача некоторого сигнала, сформированного по определенному закону из принятого. Передатчик сравнивает принятое по обратному каналу сообщение с переданным и при их несоответствии повторяет переданное сообщение.

В некоторых системах по обратному каналу передаются **испытательные сигналы**, с помощью которых *определяются промежутки времени "хорошего" состояния* прямого канала (например, промежутки времени, когда ослабление сигнала не превышает некоторого фиксированного значения). Именно в эти промежутки времени ведется передача информации по прямому каналу. Такие системы называются **системами с прерывистой связью**. По обратному каналу могут также передаваться команды на смену рабочей частоты, изменения скорости передачи информации, смена кода и т.п., что, например, имеет место в адаптивных СПИ.

По одной линии можно *обеспечить одновременную передачу нескольких сообщений*. Такие системы связи называются **многоканальными**. Для разделения канальных сигналов необходимо, чтобы они различались между собой по некоторому признаку. На практике широко применяют *многоканальные системы с разделением сигналов по времени, частоте и форме*.

Современные РСПИ характеризуются большим разнообразием видов передаваемых сообщений, способов модуляции, принципов построения, режимов работы и т.п. Соответственно они могут быть классифицированы по многим признакам.

По *числу каналов* различают **одноканальные и многоканальные системы**. По наличию обратного канала различают системы **без обратной связи и с обратной связью**.

По *режиму использования канала* различают системы односторонней связи, **симплексные и системы двусторонней связи**.

В первых передача осуществляется *в одном направлении*, в последних *возможна одновременная передача в обоих направлениях*.

В симплексной системе возможна двусторонняя связь, но *передача и прием ведут-*

ся поочередно.

По виду передаваемых сообщений различают следующие типы систем:

телефонные, предназначенные для передачи речи;

телеграфные, предназначенные для передачи текста;

фототелеграфные, предназначенные для передачи неподвижных изображений; телевизионные, предназначенные для передачи изображений;

телеметрические, предназначенные для передачи измерительной информации;

системы телеуправления, предназначенные для передачи команд управления;

системы передачи данных, предназначенные для обслуживания автоматизированных систем управления.

В зависимости от механизма распространения радиоволн, используемых для передачи сообщений, различают **ионосферные, тропосферные, метеорные и космические** системы.

Классификация систем по другим признакам, таким, как вид модуляции, способ уплотнения-разделения каналов, способ обеспечения свободного доступа, будет приведена далее.

Для различных РСПИ критерии соответствия принятого сигнала переданному могут существенно отличаться. При передаче дискретных сообщений действие помех проявляется в том, что вместо переданного символа принимается другой. В этом случае достоверность передачи сообщений целесообразно характеризовать или вероятностью правильного приема символа $p_{пр}$, или вероятностью ошибки $p_{ош} = 1 - p_{пр}$.

Под помехоустойчивостью СПИ понимается способность системы противостоять вредному действию помех на передачу сообщений. Она зависит от способов кодирования, модуляции, метода приема и т.п.

При передаче дискретных сообщений для характеристики быстродействия аппаратуры формирования информационных символов пользуются понятием техническая скорость. Она определяется числом символов дискретного сообщения, передаваемых в единицу времени, и измеряется в бодах.

Одной из важных характеристик системы передачи информации является **задержка**, под которой понимается промежуток времени между подачей сообщения от источника на вход передающего устройства и выдачей восстановленного сообщения получателю приемным устройством. Она зависит от протяженности линии связи и времени обработки сигнала в передающем и приемном устройствах.

Каналы связи можно классифицировать по различным показателям.

В теории передачи сигналов каналы классифицируют по *характеру сигналов на входе и выходе*.

Различают **непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные каналы**.

В **непрерывных каналах** сигналы на входе и выходе *непрерывны* по уровням, в **дискретных** - они соответственно *дискретны*, а в **дискретно-непрерывных** - сигналы на входе *дискретны*, а на выходе *непрерывны*, и наоборот.

Возможна также классификация каналов по назначению РСПИ (**телеграфные, телевизионные, телеметрические** и др.), по *виду физической среды* распространения (**проводные, кабельные, волноводные** и др.) и по *диапазону используемых ими частот*.

К радиодиапазону относят частоты в пределах $30...30 \cdot 10^{12}$ Гц, что соответствует длинам волн от 10^8 м до 0,1 мм. Кроме радиодиапазона, в настоящее время широкое распространение нашел и **оптический диапазон** волн. В силу дискретного характера электромагнитного излучения в оптическом диапазоне волн такие каналы принято называть **квантовыми**. Данные о радиодиапазонах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диапазон частот	Диапазон волн	Название частот	Наименование волн
30...300 Гц	1000...10000 км	Сверхнизкие (СНЧ)	Мегаметровые
300...3000 Гц	100...1000 км	Инфранизкие (ИНЧ)	Гектокилометровые
3...30 кГц	10...100 км	Очень низкие (ОНЧ)	Мериаметровые
30...300 кГц	1...10 км	Низкие (НЧ)	Километровые
300...3000 кГц	100...1000 м	Средние (СВ)	Гектометровые
3...30 МГц	10...100 м	Высокие (ВЧ)	Декаметровые
30...300 МГц	1...10 м	Очень высокие (ОВЧ)	Метровые
300...3000 МГц	10...100 см	Ультравысокие (УВЧ)	Дециметровые
3...30 ГГц	1...10 см	Сверхвысокие (СВЧ)	Сантиметровые
30...300 ГГц	1...10 мм	Крайне высокие (КВЧ)	Миллиметровые
300...3000 ГГц	0,1...1 мм	Гипервысокие (ГВЧ)	Децимиллиметровые

По *способу распространения радиоволн* различают **каналы с открытым и с закрытым распространением**. В каналах с закрытым распространением электромагнитная энергия распространяется по направляющим линиям (кабельные, проводные, волноводные СВЧ тракты и др.). Для них характерны малый уровень помех и постоянство параметров сигнала, что позволяет передавать информацию с высокой скоростью и достоверностью.

Рассмотрим кратко особенности использования радиоволн различных диапазонов в каналах с открытым распространением. В диапазонах ИНЧ, ОНЧ, НЧ на небольших расстояниях поле в месте приема создается за счет дифракционного огибания волнами выпуклых поверхностей Земли. На больших расстояниях радиоволны распространяются в своеобразном сферическом волноводе, внутренняя стенка которого образуется поверхностью Земли, а внешняя - ионосферой. Такой механизм распространения позволяет принимать сигналы в любой точке Земли, причем параметры принятых сигналов отличаются достаточно высокой стабильностью. Особенностью этих диапазонов является также способность волн проникать в толщу Земли и воды на глубину в десятки метров.

В распространении волн диапазона ВЧ принимает участие ионосфера. Однако, если волны длиннее 1 км отражаются от нижнего ее слоя практически зеркально, то декаметровые волны достаточно глубоко проникают в ионосферу, что приводит к **эффекту многолучевости**, когда в точку приема приходит одновременно несколько сигналов с разными временами запаздывания. Многолучевость может носить дисперсионный или дискретный характер.

Дисперсия (рассеяние) сигнала определяется отражением радиоволн от некоторого объема ионосферы, а дискретная многолучевость - отражением от разных слоев ионосферы. Так как глубина проникновения в ионосферу зависит от длины волны, то для передачи информации между двумя пунктами можно указать оптимальную рабочую частоту (ОРЧ), на которой связь будет наиболее надежной (максимум мощности принимаемого сигнала, минимум эффекта многолучевости).

Значение ОРЧ рассчитывают для определенных трасс и времени связи. Для этого составляют долгосрочные и кратковременные прогнозы по данным мировой сети станций ионосферного зондирования. Декаметровые волны широко применяются для глобальной связи и радиовещания. С их помощью можно передавать информацию сравнительно большого объема в пределах всего земного шара при ограниченной мощности передатчика и небольших по размеру антеннах.

До появления спутниковых систем связи этот диапазон был единственным пригодным для организации связи между двумя любыми пунктами на Земле без промежуточной ретрансляции. Однако эффект глобального распространения коротких волн имеет и свою отрицательную сторону - в точке приема могут появиться сильные помехи от дальних радиостанций.

Гектометровые волны днем распространяются как земные, а ночью - как ионосферные. Дальность распространения земной волны над сушей не превышает 500 км, а

над морем - 1000 км. Диапазон СЧ широко используется в радиовещании, связи и радионавигации.

Волны диапазона частот от 30 МГц и выше слабо дифрагируют и поэтому распространяются в пределах прямой видимости. Некоторого увеличения дальности можно достичь, применив поднятые антенны, для организации связи на расстояния, превышающие прямую видимость, ретрансляцию сигналов. Системы с ретрансляцией сигналов называют радиорелейными линиями. Одним из основных достоинств высокочастотных диапазонов является большой частотный ресурс, что позволяет создавать радиосистемы передачи информации с высокой скоростью передачи и радиосети с большим числом одновременно работающих радиостанций.

Стремление увеличить дальность радиолинии в этих диапазонах без промежуточной ретрансляции нашло свое решение в РСПИ, использующих рассеяние радиоволн на неоднородностях тропосферы, ионосферы и метеорных следах. Однако такие системы по качеству передачи информации не могут конкурировать с радиорелейными линиями того же диапазона, поэтому их имеет смысл применять тогда, когда строительство радиорелейных линий по тем или иным причинам не возможно.

Стремление увеличить ширину полосы частот канала, а также повысить пространственную селекцию сигналов за счет использования остронаправленных антенн при их ограниченных размерах привело к освоению диапазона миллиметровых и дециметровых волн. Главной особенностью их с точки зрения распространения является сильное поглощение в дожде и тумане, что ограничивает их применение в наземных системах большой дальности. Однако в космических и спутниковых системах они весьма перспективны.

Новую эру в освоении высокочастотной области радиодиапазона для средств связи открыл запуск искусственных спутников Земли (ИСЗ). Обычно ИСЗ находятся на высоте от 500 до 40000 км от поверхности Земли и поэтому обеспечивают радиосвязь между земными станциями, удаленными на расстояния до 10...17 тыс. км. Линия спутниковой связи состоит из двух конечных земных станций и одного или нескольких спутников-ретрансляторов, обращающихся вокруг Земли по заданным орбитам.

Из всего многообразия орбит ИСЗ особый интерес представляет экваториальная круговая орбита, удаленная от поверхности Земли на расстояние около 36 тыс. км (стационарная экваториальная орбита). Когда направление движения ИСЗ по такой орбите совпадает с направлением вращения Земли, спутник будет казаться наземному наблюдателю неподвижным (стационарный спутник). При использовании трех стационарных спутни-

ков, расположенных в экваториальной плоскости через 120° по дуге, принципиально оказывается возможным организовать глобальную систему связи. Максимальный от горизонта до горизонта обзор земной поверхности от одного ИСЗ или, иначе говоря, максимальное расстояние вдоль поверхности Земли между двумя станциями будет практически составлять 15...17 тыс. км. Существенные преимущества стационарной орбиты заключается в снижении требований к системам слежения за спутником, сведение к минимуму доплеровских сдвигов частоты сигналов, что упрощает приемное устройство при большом обзоре поверхности Земли. Недостатком стационарной орбиты является плохой охват приполярных зон. Поэтому на территории бывшего СССР для систем связи широко применяются сильно вытянутые эллиптические орбиты с большой полуосью до пяти земных радиусов с эксцентриситетом 0,8...0,9 и углом наклона примерно 65° . Три спутника, выведенные через равномерный интервалы времени на аналогичные эллиптические орбиты, восходящие узлы которых смещены относительно друг друга на 120° , могут обеспечить круглосуточную непрерывную связь между земными станциями, расположенными в Северном полушарии Земли, на глобальные расстояния.

Выбор рабочих частот для линий радио связи через ИСЗ определяется следующими факторами: условиями распространения и поглощения радиоволн, уровнем внешних помех, принимаемых антенной, техническими средствами (коэффициент шума приемного устройства, ширина лепестка диаграммы направленности, точность ориентации и т.п.), взаимными помехами между системами связи через ИСЗ и другими службами, работающими в смежных или совмещенных диапазонах частот. Ограничение диапазона частот снизу определяется экранирующим действием ионосферы, а сверху - поглощением в тропосфере. Эти два фактора предопределили диапазон рабочих частот 30 МГц... 40 ГГц. В настоящее время наибольшее использование находит диапазон 1...12 ГГц.