ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# Реферат

На тему:

«Положение и перспективы развития радиорелейной и тропосферной связи»

Написал:

студент XXXXXX

Проверил:

преподаватель: XXXXXX

Днепропетровск

2002

**Содержание.**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Стр. |
|  |  |
| Введение в раздел | 3 |
| 1. Радиорелейная связь. Основные понятия. | 4 |
| 1.1. Некоторые виды используемых станций и их параметры | 6 |
| 1.2. Надежность работы радиорелейных станций | 11 |
| 1.3. Использование луны в качестве пассивного ретранслятора | 14 |
|  |  |
| Введение в раздел | 20 |
| 2. Тропосферная связь. Основные понятия | 21 |
| 2.1. Некоторые виды используемых станций и их параметры | 23 |
| 2.2. Сверхдальние тропосферные линии передачи | 25 |
| 2.3. Повышение частотно-энергетической эффективности тропосферных систем связи | 30 |
|  |  |
| Заключение | 39 |
|  |  |
| Список использованной литературы | 40 |

**Введение в раздел**

Развитие современной техники привело к необходимости быстрого и точного решения задач управления и координации с учетом событий, происходящих на больших расстояниях от центров управления. При этом резко возросла роль связи не только в схеме «человек-человек», но и для передачи данных в схеме, соединяющей между собой две электронных машины.

Характер в этом случае обуславливает особые требования к тракту: во-первых, - повышение пропускной способности систем связи, и, во-вторых, - увеличение требований к надежности и качеству передачи.

Особенность использования радиорелейной и тропосферной связи является применение УКВ диапазона, в котором они работают.

Первое преимущество состоит в том, что в диапазоне УКВ имеется возможность применения антенн с большой направленностью при малых габаритах их. Это уменьшает взаимные помехи между станциями и дает возможность использовать передатчики малой мощность.

Второе преимущество – в том, что в диапазоне УКВ может быть передан широкий спектр частот. Это дает возможность передавать на одной несущей частоте сигналы большого числа каналов. Современные линии строятся с расчетом на передачу от одного-двух до тысячи т более телефонных сообщений.

Третьим преимуществом диапазона УКВ является то обстоятельство, что в этом диапазоне весьма мало влияние различного рода помех. На более высокочастотной части диапазона линии меньше подвержены помехам, т.к. с одной стороны, вероятность появления помех в этом диапазоне меньше, а с другой стороны направленность антенн выше а, следовательно, меньше вероятность проникновения помехи в приемник. На более низких частотах в области метровых волн вероятность появления помех от системы зажигания двигателей внутреннего сгорания или индустриальных и атмосферных помех велика, а направленность антенн низка. Поэтому качество каналов таких линий обычно ниже.

#### 1. Радиорелейная связь. Основные понятия.

Под **радиорелейной связью** понимают радиосвязь, основанную на ретрансляции радиосигналов дециметровых и более коротких волн станциями, расположенными на поверхности Земли. Совокупность технических средств и среды распространения радиоволн для обеспечения радиорелейной связи образует **радиорелейную линию связи.**

**Земной** называют радиоволну, распространяющуюся вблизи земной поверхности. Земные радиоволны короче 100 см хорошо распространяются только в пределах прямой видимости. Поэтому радиорелейную линию связи на большие расстояния строят в виде цепочки приемно-передающих радиорелейных станций (РРС), в которой соседние РРС размещают на расстоянии, обеспечивающем радиосвязь прямой видимости, и называют ее **радиорелейной линией****прямой видимости** (РРЛ).

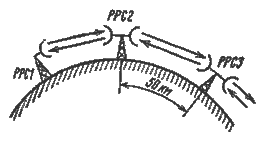


Рисунок 1.1 – К пояснению принципа построения РРЛ

**Классификация радиорелейных линий связи.**

* В зависимости от первичной сети ЕАСС различают:
  + Магистральные РРЛ
  + Внутризоновые РРЛ
  + Местные РРЛ.
* В зависимости от способа формирования **ГС** различают аналоговые и цифровые РРЛ. Аналоговые РРЛ в зависимости от способа объединения (разделения) электрических сигналов и метода модуляции несущей различают:
  + РРЛ с ЧРК
  + ЧМРРЛ с ФИМ-АМ
* В зависимости от числа *N* организуемых каналов ТЧ:
  + Малоканальные — N £ 24
  + Со средней пропускной способностью — N = 60 ... 300
  + С большой пропускной способностью—N = 600 ... 1920.
* Цифровые РРЛ классифицируют по способу модуляции несущей:
  + ИКМ-ЧМ
  + ИКМ-ФМ
  + и другие
* В зависимости от скорости передачи двоичных символов *В*:
  + с малой пропускной способностью — В<10 Мбит/с
  + со средней пропускной способностью — В=10...100 Мбит/с
  + с высокой пропускной способностью — В>100 Мбит/с

**1.1. Некоторые виды используемых станций и их параметры**

### *Радиорелейная станция Р-415*

РРС Р-415 предназначена для создания временных быстроразвертываемых малоканальных радиорелейных линий связи. Радиостанция допускает встречную работу в радиолинии с радиорелейной станцией типа Р—405М. По условиям эксплуатации станция может быть установлена в автомобилях, самолетах, вертолетах. РРС изготавливается в шести вариантах, отличающихся количеством и типом приемопередатчиков (Н, В, НВ) и напряжением питания (27 В, 220 В 50 Гц/27 В).

|  |
| --- |
|  |

Рисунок 1.1.1 – Внешний вид станции Р-415

Р-415 обеспечивает следующие режимы работы:

* режим внутреннего уплотнения, при котором обеспечивается одновременная работа по двум телефонным и двум телеграфным каналам;
* режим внешнего уплотнения аппаратурой типа “Азур” по трем оперативным и одному служебному телефонным каналам;
* режим внешнего уплотнения аппаратурой передачи данных со скоростью 12—4 8 кБит/с;
* режим дистанционного управления КВ или УКВ радиостанциями;
* симплексный режим, при котором обеспечивается работа по одному из телефонных каналов с повышенной девиацией частоты;
* режим автоматизированного контроля, обеспечивающий определение неисправного блока.

# Технические данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **Диапазон 1(“Н")** | | | | | **Диапазон 2(“В”)** |
| Диапазон частот, МГц | | 80-120 | | | | | 390-430 |
| Количество рабочих частот | | 800 | | | | | 200 |
| Дискретность сетки частот, кГц | | 50 | | | | | 200 |
| Минимальный дуплексный разнос, МГц | | 8,05 | | | | | 15,00 |
| **Мощность передатчиков, Вт:** | | | | | | | |
| номинальная | | 10 | | | | | 6 |
| пониженная | | 0,5-2,5 | | | | | 0,3-1,3 |
| **Чувствительность приемников при отношении сигнал/шум 35 дБ, мкВ:** | | | | | | | |
| в первом канале ТЧ | 2,2 | | | | 5,0 | | |
| во втором канале ТЧ | 5,5 | | | | 5,0 | | |
| Коэффициент усиления антенн, дБ | 7 | | | | 11 | | |
| **Дальность связи:** | | | | | | | |
| при работе на направленные антенны при высоте подвеса 16 м, км | | | не менее 30 | | | | |
| при работе на ненаправленные антенны в движении, км | | | 10 | | | | |
| **Электропитание станции Р—415 осуществляется. В:** | | | | | | | |
| постоянным током | | | | +27 | | | |
| переменным однофазным током 50 Гц | | | | 220 | | | |
| переменным трехфазным током 50 Гц | | | | 380 | | | |
| **Максимальная мощность, потребляемая станцией, ВА:** | | | | | | | |
| от сети переменного тока | | | | | | 240 | |
| от сети постоянного тока | | | | | | 180 | |
| **Масса аппаратуры, кг:** | | | | | | | |
| однодиапозонной | | | | | | 78 | |
| двух диапазонной | | | | | | 106 | |
| Рабочий диапазон температур, °С | | | | | | (-30.....+50) | |
| Относительная влажность при +40 °С,%: | | | | | | 98 | |
| Пониженное атмосферное давление, гПа | | | | | | 613 | |

### *Pадиорелейная станция Р-419С*

РСР—419 С предназначена для организации самостоятельных радиорелейных и кабельных линий связи, а также для ответвления каналов от многоканальных радиорелейных, тропосферных и проводных линий связи на стационарных объектах связи. Станция имеет семь вариантов исполнения, отличающихся комплектацией (количество приемопередатчиков, наличие блока сопряжения, типы антенных устройств),

### 



### Рисунок 1.1.2 – Внешний вид станции Р-419С

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

|  |  |
| --- | --- |
| **Основные параметры** | |
| **Приемопередающая аппаратура станции работает в диапазонах частот:** | * **160...240 МГц (диапазон "2")** * **240...320 МГц (диапазон "3")** * **320...480 МГц (диапазон "4")** * **480...645 МГц (диапазон "5")** |
| **РРС обеспечивает в условиях среднепересеченной местности при отношении сигнал/шум в канале ТЧ 35 дБ создание радиорелейных линий следующей протяженности:** | |
| *диапазоне 160—645 МГц при 6—канальной работе* | до 300 км (6—8 интервалов) |
| *диапазоне 240—645 МГц при 12—канальной работе* | до 75 км (2 интервала) |
| *диапазоне 480—645 МГц при 24, 60—канальной работе* | до 20 км (1 интервал) |
| **Передаваемый цифровой информационный поток со скоростями, кБит/с:** | |
| *в диапазоне 160...480 МГц* | 48 |
| *в диапазоне 480...645 МГц* | 480 |
| **Мощность передатчиков на антенном выходе составляет, Вт:** | |
| *в диапазонах "2", "3"* | 10 |
| *в диапазонах "4", "5"* | 6 |
| **Чувствительность приемников при отношении сигнал/шум 35 дБ в канале ТЧ, мкВ:** | |
| *в диапазонах "2", "3", "4"* | 4,5 |
| *в диапазоне "5"* | 8,9 |
| Потребляемая мощность, Вт | 200...500 |
| Габариты стойки аппаратной, мм | 606х520х785 |
| Масса стойки аппаратной, кг | 130 |
| Рабочий диапазон температур, °С | (-30...+50) |
| Относительная влажность при +40 °С, % | 98 |
| Пониженное атмосферное давление, гПа | 613 |

### *Радиорелейная  станция Р-419А*



Рисунок 1.1.3 – Внешний вид станции Р-419А

PPC P-419 А предназначена для создания временных быстроразвертываемых малоканальных радиорелейных линий связи, PPC смонтирована на автошасси ЗИЛ-131 в кузове K2-13L

Станция имеет три варианта исполнения, отличающихся используемой транспортной базой:

* Р-419 А - используется новая транспортная база;
* Р-419 АР - используется транспортная база из морально устаревших изделий;
* Р-419 БР - вариант станции без транспортной базы.

##### ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Основные параметры** | | |
| Приемопередающая аппаратура станции работает в диапазонах частот: | | * 160...240 МГц (диапазон "2") * 240...320 МГц (диапазон "3") * 320...480 МГц (диапазон "4") * 480...645 МГц (диапазон "5") |
| **PPC обеспечивает в условиях среднепересеченной местности при отношении сигнал/шум в канале ТЧ 35 дБ создание радиорелейных линий следующей протяженности:** | | |
| *в диапазоне 160-645 МГц при 6-канальной работе* | до 300 км (6-8 интервалов) | |
| *в диапазоне 240-645 МГц при 12-канальной работе* | до 75 км (2 интервала) | |
| *в диапазоне 480-645 МГц при 24, 60-канальной работе* | до 20 км (1 интервал) | |
| **Передаваемый цифровой информационный поток со скоростями, кБит/с:** | | |
| *в диапазонах "2", "3", "4"* | до 48 | |
| *в диапазоне "5"* | до 480 | |
| **Мощность передатчиков на антенном выходе составляет, Вт:** | | |
| *в диапазонах "2", "3"* | 10 | |
| *в диапазонах "4", "5"* | 6 | |
| **Чувствительность приемников при отношении сигнал/шум 35 дБ в канале ТЧ, мкВ:** | | |
| *в диапазонах "2", "3", "4"* | 4,5 | |
| *в диапазоне "5"* | 8,9 | |
| Потребляемая мощность, кВА | до 2,3 | |
| **Антенны станции:** | | |
| две направленные антенны на диапазоны "2"..."5" с коэффициентом усиления, дБ | 7,5; 12,5 | |
| одна ненаправленная диско-конусная антенна на диапазоны "2"..."5" |  | |
| Первичное электропитание станции: | * от двух (основного и резервного) бензоэлектрических агрегатов типа АБ-4-Т/400-М1; * от внешней сети трехфазного тока 380 В, 50 Гц; * от аккумуляторов (аварийное электропитание). | |
| Рабочий диапазон температур, °С: | .(-30...+50) | |
| Относительная влажность при +40 °С, "/о | 98 | |
| Пониженное атмосферное давление, гПа: | 613 | |

### 1.2. Надежность работы радиорелейных станций

а) Основные положения

Радиорелейная линия связи содержит цепочку стан­ций, каждая из которых представляет собой сложный комплекс аппаратуры, содержащей большое число элементов: электровакуумных приборов, различных деталей и устройств. Каждый из перечисленных элементов мо­жет выходить из строя, т. е. является элементом ненадежным, что влечет за собой выход из строя радиоре­лейной линии в целом или ухудшение качества ее работы. Поскольку таких ненадежных элементов в линии очень большое число, то и вероятность выхода ее из строя, в том случае, если не приняты соответствующие меры, получается большой.

Насколько велика вероятность выхода из строя ра­диорелейной линии с достаточно большим числом ретрансляций, видно из следующего примера. Можно счи­тать, что сложность (по количеству элементов) совре­менной коротковолновой радиостанции и радиорелей­ной станции примерно одинакова. Если имеется линия связи протяженностью в 1 000 *км,* то ее работа в слу­чае использования коротковолновых станций обеспечи­вается 2 станциями, а в случае использования радиоре­лейных станций—21 станцией при длине интервала 50 *км.* Следовательно, количество аппаратуры в послед­нем случае возрастает примерно в 20 раз, а вероятность выхода из строя возрастает еще значительнее.

Для увеличения надежности радиорелейной линии не­обходимо повышать надежность элементов, входящих в нее. Однако на современном уровне техники повысить надежность элементов радиорелейных линии до достаточной величины не всегда удается. Поэтому прибегают к резервированию аппаратуры станций.

В простейшем случае резервирование может осу­ществляться ручной сменой поврежденного узла, блока или элемента на исправный резервный. Однако такое резервирование сопряжено со значительным перерывом связи, достигающим 3—5 *мин* и более. Для сокращения этих перерывов применяют автоматическое резервиро­вание. Кроме того, вследствие сокращения обслуживаю­щего персонала и из экономических соображений не­которые станции радиорелейных линий могут быть не­обслуживаемыми. На таких станциях введение резерва, очевидно, может производиться только автоматически.

Та или иная степень ненадежности радиорелейной линии в конечном счете для абонентов, обслуживаемых ею, будет характеризоваться средним временем пере­рывов и числом перерывов связи за определенный отре­зок времени (сутки, месяц, год). Эти характеристики линии зависят не только от надежности аппаратуры, о которой говорилось выше, но и от условий распростра­нения радиоволн на интервалах радиорелейной линии, а также от квалификации обслуживающего персонала и организации технической эксплуатации и управления линией.

Опыт эксплуатации радиорелейных линий показы­вает, что упомянутые выше характеристики зависят в основном от надежности аппаратуры.

б) Некоторые понятия теории надежности

*Надежность* есть свойство устройства или системы (элемента), обусловленное главным образом ее безотказностью и ремонтопригодностью и обеспечивающее выполнение задания в установленном для системы объ­еме.

Вероятность безотказной работы обозначается через P(t) и обладает следующими очевидным свойством:

0 ≤ P(t) ≤ 1

Ясно, что:

Р(0) = 1, Р(∞) = 0

Типичное изменение вероятности безотказной работы представлено на рисунке 1.2.1.

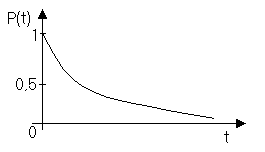


Рисунок 1.2.1 – График изменение вероятности безотказной работы в течении времени

Видно, что с течением времени она уменьшается. Для большинства элементов и, в частности, для электровакуумных приборов в большинстве случаев полагают, что P(t) изменяется по экспоненциальному закону.

Надежность можно оценивать по вероятности отказа. Так как отказ и безотказная работа – события противоположные, то

q(t) = 1 – p(t),

где q(t) – вероятность отказа.

Интенсивность отказов – отношение частоты отказов к вероятности безотказной работы не восстанавливаемой при работе системы (элемента). Определяется по формуле:



Типичная кривая интенсивности отказов для устройств, содержащих большое число приборов приведена на рисунке 1.2.2.

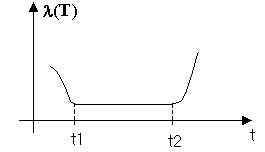


Рисунок 1.2.2 – Типичная кривая изменения интенсивности отказов аппаратуры во времени

Видно, что на участке 0 – t1 интенсивность отказов резко уменьшается, что объясняется выходом из строя элементов, имеющих внутренние дефекты. Если элементы проходит предварительную тренировку, то этот участок отсутствует.

На участке t1 – t2 интенсивность отказов примерно одинакова. Рост ее на участке t > t2 объясняется износом элементов.

1.3. Использование луны в качестве пассивного ретранслятора

а) Основные сведения

Стремление получить большие дальности связи при минимальном количестве ретрансляций заставило обратиться к такому «пассивному ретранслятору», как Луна.

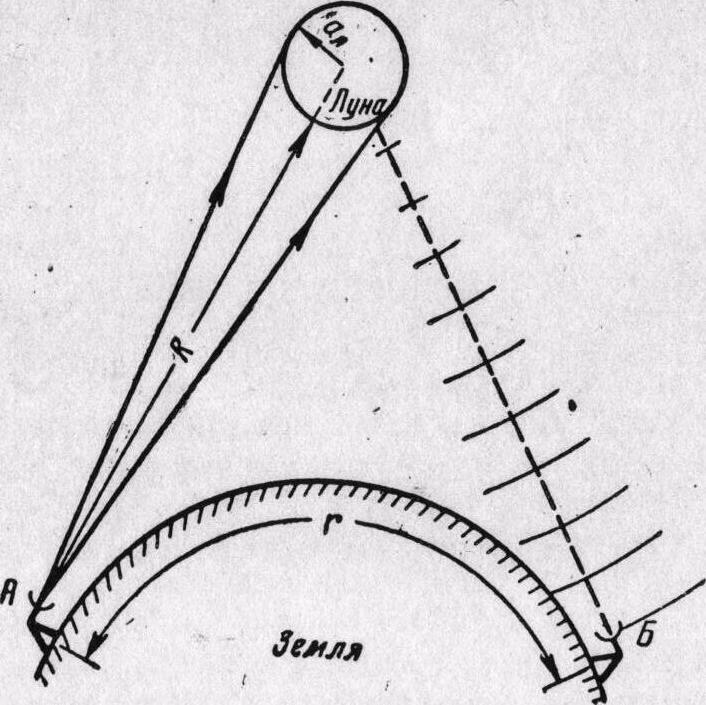


Рисунок 1.3.1. Схематическое представление линии связи, использующей Луну в ка­честве пассивного ретранслятора.

Возможность использования Луны для этой цели стала ясной, когда вначале теоретически в 1943 г. Л. И. Мендельштамом и Н. Д. Папелекси, а затем в 1946 г. экспериментально венграми и американцами была до­казана возможность отражения электромагнитной энер­гии от поверхности Луны. В 1948 г.были проведены первые опыты по радиосвязи с использованием Луны в качестве пассивного ретранслятора.

Линия связи с использованием Луны схематически представлена на рис. 1.3.1. При падении электромагнит­ной энергии, излучаемой антенной пункта А на поверх­ность Луны, последняя становится источником вторич­ного излучения, которое принимается антенной, распо­ложенной во втоpoм пункте связи Б.

Характерной чертой такой ретрансляционной линии является большое расстояние *R* от пунктов связки *А* и *Б* до пассивного ретранслятора - Луны, по сравнению с дальностью связи r. Так, среднее расстояние Земля— Луна, измеренное астрономическими способами, состав­ляет 3844\*105 *км* (Луна движется вокруг Земли приблизительно по эллиптической орбите, и расстояние *R* изменяется от 3,54\*105 до 4,06\*105 *км).* Максимальная же дальность связи r может составлять не более 10 000 *км.*

б) Энергетические соотношения

По существу в линии связи Земля—Луна—Земля Луна является пассивным ретранслятором второго типа. Особенность такой линии в том, что здесь R1≈R2=R , в энергетическом отношении для пассивной ретрансля­ции это наихудший случай. Кроме того, следует учи­тывать отражающие свойства Луны.

Поскольку в данном случае распространение проис­ходит в свободном пространстве (V1==V2==l), потери в тракте распро­странения такой линии связи с учетом усиления прием­ной и передающей антенн будут:

(1.3.1)



В эту формулу входит эффективная поверхность ЛуныQЭ Л которую необходимо определить.

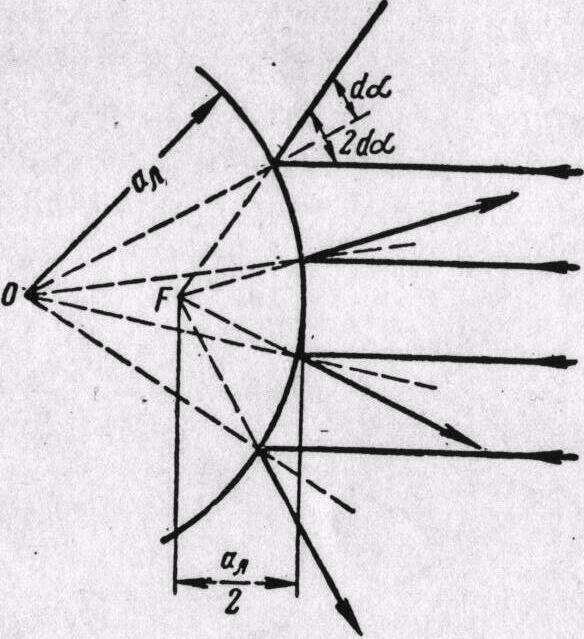


Рисунок 1.3.2. К определению мнимого фокуса отражающей поверхности Луны.

Сферическая поверхность Луны сильно изрезана и, по мнению советские ученых, состоит из пород, близких к горным туфам и вулканическим шлакам. Однако для радиоволн, длина ко­торых значительно боль­ше этих неоднородностей, можно считать, что лун­ная поверхность пред­ставляет собой идеаль­ный отражатель. Эффек­тивную поверхность тако­го отражателя можно найти следующим обра­зом.

Для «центральных лу­чей», падающих под очень малым углом *da* к радиусу (рис. 1.3.2), можно най­ти так называемый мни­мый фокус *F,* из которого как бы исходят отражен­ные лучи. Так как для от­раженных лучей угол к на­правлению падения равен 2dа, то мнимый радиус лежит на расстоянии от центра, равном половине радиуса.

Плотность потока мощности «центральных лучей» Р2 отраженных от Луны на расстоянии *R* от фокуса, будет меньше плотности потока мощности на поверхности Луны во столько раз, во сколько *R2* больше квадрата фокусного расстояния , т.е.



Подставив это в выражение для эффективной поверхности отражателя, получим



тогда выражение (1.3.1) примет вид

(1.3.2)



где аЛ = 1б738\*103 км – радиус Луны.

Если считать, что поверхность Луны идеально диф­фузная, то она будет создавать максимальное излу­чение в направлении нормали и совсем не давать излу­чения в касательном направлении. Тогда эффективная поверхность Луны будет



а. выражение (1.3.2) примет вид

(1.3.3)



Проведенные за последние годы эксперименты пока­зали, что поверхность Луны не является идеально гладкой и идеально диффузной, а занимает какое-то промежуточное положение. Если бы поверхность Луны была бы идеально гладкой, то при отражении импуль­сов электромагнитной энергии достаточно малой дли­тельности они бы практически не искажались. Если считать, что поверхность Луны идеально диффузная, то отраженный импульс создается по принципу сложе­ния мощностей, создаваемых отдельными элементами лунной поверхности.

На рисунке 1.3.3 приведена схема про­хождения короткого импульса мимо поверхности Луны.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |

Рисунок 1.3.3 - Схема прохождения короткого импульса мимо Луны.

Из рисунка следует, что самый короткий импульс будет создавать вторичное излучение за время прохождения его вдоль всей видимой поверхности Луны, т. е. от точ­ки А до точки Б*.* Иными словами, импульс будет ра­стянут на время



Эксперименты же показали, что удлинение импуль­сов имеет место, но значительно меньше и составляет 0,3 *мсек,* причем 70% энергии импульса заключено в первой десятой миллисекунды. Это означает, что диск Луны имеет «темный нимб» и отражение происходит только в небольшой области, находящейся в центре видимого диска. Определено, что на частоте 120 *Мгц* эффективная по­верхность Луны имеет радиус 1/3 аЛ.

М. П. Долухановым высказано предположение, что отражение импульсов от Луны происходит в основ­ном в пределах первой по­лузоны Френеля и носит не зеркальный, а частично диф­фузный характер ввиду на­личия на поверхности Лу­ны неровностей. Удлинение

импульсов до 0,3 *мсек* получается из-за отражения от соответствующим образом ориентировочных неровностей на глубине Δ< аЛ = 45 *км* . На рисунке 1.3.4 показано, что соответствует радиусу отражающей части поверхности Луны около 400 *км.* Последнее подтверждается тем, что при корот­ких импульсах основное отражение отделено от по­следующих более или менее явно выраженными им­пульсами. Этим объясняется явление так называемых «модуляционных потерь» — уменьшение интенсивности отражения по мере укорочения длительности импульса. При увеличении длительности импульса дополнитель­ные отражения накладываются на основные и интенсивность отражения возрастает.

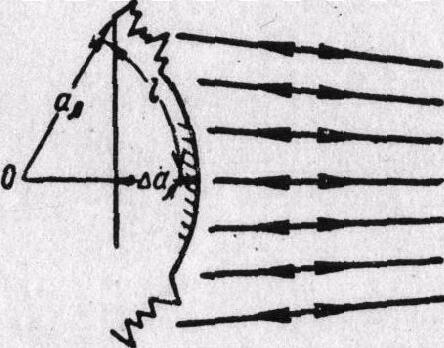


Рисунок 1.3.4. Отражающая часть поверхности Луны.

Зависимость потерь в тракте распространения от длины волны, учитываемая формулой 1.3.3. Сравнение принятых сигна­лов на волнах 15 и 76 *см* показало, что мощность шумов в канале на волне 15 *см* больше примерно на 14 дб, чем на волне 75 *см.*

Taк как отражение от лунной поверхности проис­ходит в основном в пределах первой полузоны Френеля и носит частично диффузный, то этим объясняется уменьшение эффективного значения коэффициента отражения против теретического значения совершенно гладкой поверхности. Коэффициент отражения по данным экспериментов для длины волны 10 см составляет 0,27±0,1.

Из первой фазы, когда происходит наиболее интенсивное отражение, следует, что длительность переднего фронта отраженного импульса будет равна длительности посланного импульса. Из второй фазы, когда площадь отражающей поверхности уменьшается, следует, что интенсивность отраженной энергии резко падает. Длительность заднего фронта отраженного импульса определяется временем прохождения электромагнитной энергией расстояния, равного глубине отражающей поверхности (если бы Луна представляла собой идеально гладкий отражатель, эта длительность равнялась бы 11,6 мсек). Форма отраженного импульса u(t) приведена на рисунке 1.3.5.

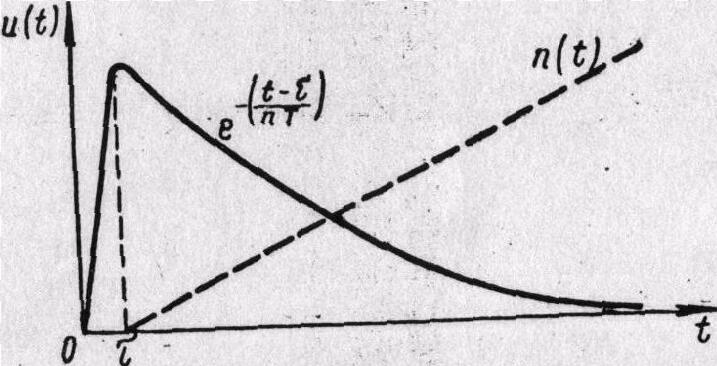


Рисунок 1.3.5. Форма отраженного от Луны импульса.

Задний фронт импульса можно аппроксимировать выражением:



где n(t) – некоторая функция от t, приведенная на рисунке 1.3.5 пунктиром.

**Введение в раздел**

Первая тропосферная радиорелейная линия была сооружена в США в 1955г. и работала в диапазоне частот 500—700 *Мгц* с рас­стоянием между соседними станциями около 250 *км.* В последую­щие годы наметился переход к более высоким частотам (до 5000—6000 *Мгц),* Дальность связи вследствие большего затухания при распространении радиоволн в этом случае уменьшается, од­нако возрастает пропускная способность системы связи и уменьшаются искажения передаваемой информации. Для повышения на­дежности стали использовать счетверенный прием с пространственным и частотным разнесениями, а также прием более высокой кратности с угловым разнесением. Появились мобильные системы военной радиосвязи. Ведутся интенсивные работы по использова­нию линии ДТР для связи Земля-самолет и Земля-корабль. Раз­витие радиотехники и электроники позволило в последние годы построить линии тропосферной связи на частотах 500—1000 *Мгц,* с расстоянием между соседними станциями до 800, а в отдельных, *благоприятных по* условиям распространения радиоволн случаях, и до 1000 *км.* Для этого потребовалось создать радиопередающие устройства с мощностью до 100 *кВт,* антенные системы, площадь которых приближается к 2000  *м2*  приемные устройства с шумо­вой температурой 70 - 150°К и специальные устройства, улучшаю­щие пороговые свойства ЧМ. Обычно ширина полосы передавае­мых сигналов на линиях сверхдальнего тропосферного распростра­нения (СТР) не превышает 100—200 *кГц.* Это позволяет переда­вать по ним 12—24 телефонных канала.

Дальнейшим возможным аспектом использования линии СТР является создание одноканальных линий внутриобластной связи с малыми энергетическими параметрами. Расчеты показывают, что такие линии могут быть весьма экономичными.

Наряду с увеличением длины участков линии развитие систем связи, использующих ДТР, идет по пути *расширения* полосы пе­редаваемых сигналов. Это достигается, в частности, использованием узконаправленных антенн; хотя увеличения энергетических параметров аппаратуры почти не происходит, так как возрастают по­тери усиления антенн, узкий пучок электромагнитной энергии обе­спечивает малые запаздывания между отдельными компонентами многолучевого сигнала в месте приема и, вследствие этого, малые искажения. Расширение полосы передачи позволило передать по линиям ДТР телевизионные сигналы совместно со звуковым сопровождением. Имеются сообщения о применении на линиях ДТР импульсно-кодовой модуляции. Для расширения полосы частот и уменьшения искажений при использовании дальнего тропосферного распространения УКВ находят применение новейшие методы борь­бы с многолучевостью путем использования сигналов с широкой базой*.*

**2. Тропосферная связь. Основные понятия**

**Тропосферная радиоволна** распространяется между точками земной поверхности по траектории, лежащей в тропосфере. Энергия тропосферной радиоволны короче 100 см рассеивается на неоднородностях тропосферы. При этом часть энергии попадает на приемную антенну РРС, расположенной за пределами прямой видимости на расстоянии 250 ...350 км. Цепочка таких РРС образует **тропосферную радиорелейную линию**(ТРЛ) (рис. 2.1).На любой РРС устанавливают антенны, приемно-передающую аппаратуру и вспомогательные устройства (аппаратуру телеобслуживания, служебной связи, гарантированного электропитания и др.). Комплекс аппаратуры, обеспечивающий нормальную работу РРЛ (или ТРЛ), называют **радиорелейной системой***.*

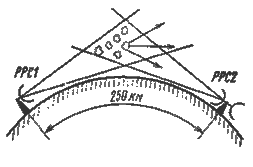


Рисунок 2.1 – К пояснению принципа работы ТРЛ

Механизм проведения дальнего распространения радиоволн на УКВ может быть обусловлен многими факторами. Наиболее часто возможно дальнее прохождение с рассеянием радиоволн на неоднородностях тропосферы. Регулярная дальняя связь с использованием рассеяния волн на неоднородностях тропосферы требует высокого энергетического потенциала радиостанций. В любительских условиях при ограниченных размерах антенн и мощности передатчиков регулярная дальняя связь возможна при усилении антенны 10-16 dBd и мощности передатчика 10 Вт на расстояниях до 300-500 км. Сила сигналов невелика и они имеют характерные временные замирания (фединги) Наиболее удачное время для таких тропосферных связей - время после захода солнца. При повышении энергетического потенциала станций (усиление антенн 16-20 dBd pwr 1 KW) радиус подобных связей возрастает до 600-800 км.

В летний период на 2 метровом диапазоне учащается возникновение положительной рефракции. Наиболее часто оно наблюдается в утренние часы, возникая в ясную погоду, после прохладной ночи, при высоком атмосферном давлении, через 20-30 мин после восхода солнца и продолжаясь, порой, до нескольких часов. Сила сигналов существенно выше (на 10-20 dB), чем при тропосферном рассеянии.

Летом, а особенно осенью, возникает канальное тропосферное прохождение. Характерным признаками являются высокое атмосферное давление, начинающее понижаться, наличие атмосферных фронтов. Данное прохождение позволяет проводить связи на расстояния до 1000-2000 км при умеренной мощности , порядка 100 Вт, и антенне с усилением 10-15 dBd.

**2.1. Некоторые виды используемых станций и их параметры**

###### *Станция Р-423-1*

|  |
| --- |
|  |
| |  |  | | --- | --- | | Рисунок 2.1.1 – Внешний вид станции Р-423-1  Станция тропосферной связи Р-423-1 является мобильной радиостанцией, разработанной для обеспечения радиосвязи. Станция Р-423-1 может использоваться для приема/передачи цифровой информации, которая поступает в мультиплексную систему «Импульс». | | | ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОСВЯЗИ | | | Дальность действия во время передачи цифровой информации на скорости |  | | - 48 кБит/с при 9 интервалах | 2000 км | | - 480 кБит/с при 11 интервалах | 2000 км | | - 2х480 кБит/с при 13 интервалах | 2000 км | | - 2048 кБит/с при 22 интервалах | 2000 км | | Умножение приема | 8-12 | | Количество релейных станций | 2 | | Максимальный коэффициент потери достоверности во время передачи: |  | | - цифровой информации с мультиканала | 4 | | - по радиосвязи (95% сеансов) | 10 | | ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СТАНЦИИ Р-423-1 | | | Диапазон рабочих частот, Гц | 4,435 - 4,555 | |  | 4,630 - 4,750 | | Количество фиксированных частот | 220 | | Тип модуляции во время передачи на скорости: |  | | - 48, 480 кБит/с | Фазовое деление модуляции | | - 2x480, 2048 кБит/с | Двойное деление модуляции | | Температура, К | 800 | | Мощность передатчика, кВт | 1,5 | | Количество передающих устройств | 2 | | Ширина спектра передаваемого сигнала, МГц | 10 | | Тип поляризации | горизонтальный | | Диаметр параболоидного отражателя антенны, м | 2,65 | | Количество телефонных каналов | 18 | | Скорость передачи информации в цифровом режиме кБит/с | 48, 480 | |  | 2х480, 2048 | | Количество технических каналов: |  | | - телефонных | 2 | | - дистанционного управления и телесигнала | 4 | | Расстояние от мультиплексной системы, км | 10 | | Питание | трехфохное 380 В + 3% (50+ 2) Гц | | Максимальное потребление электроэнергии, кВт | 30 | |

|  |
| --- |
| СОСТАВ РАДИОСТАНЦИИ Р-423-1 |
| - транспортное средство 13Д для установки;  - транспортное средство связи и технического обслуживания электростанции;  - мультиплексная система "Импульс", которая не является частью станции, используется для работы в составе цифрового оборудования. |
| БАЗОВОЕ ШАССИ: |
| - для 13Д и электростанции - автомобиль "КаМАЗ-4310";  - для средств связи и технического обслуживания - автомобиль "УРАЛ 375Д"; |

**2.2. Сверхдальние тропосферные линии передачи**

Исследования распространения волн дециметрового диапазона показали возможность увеличения расстояния между ретрансля­ционными станциями тропосферных линий до 800—1000 *км.* При этом объем рассеяния находится в стратосфере. Механизм распро­странения радиоволн на такие расстояния еще недостаточно изу­чен, однако эксперименты показали, что распределение амплитуды сигнала при быстрых замираниях также подчиняется закону Рэлея, распределение сигнала при медленных замираниях подчиняет­ся нормально логарифмическому закону, однако дисперсия распре­деления уменьшается до 2—2,5 *дБ.* Это означает, что диапазон мед­ленных флуктуаций сигнала значительно меньше, чем на обычных линиях ДТР; сезонный ход множителя ослабления также значительно меньше, чем на обычных линиях ДТР. Оказалось, что трассы, проходящие над морем, значительно лучше по условиям распространения, чем трассы такой же длины над сушей (сигнал выше на 10—20 *дБ*)*.* Линии СТР приближаются по расстоянию между соседними участками к линиям ионосферного рассеяния, однако вследствие значительно большей широкополосности канала километр линии сверхдальнего тропосферного распростране­ния обходится примерно в 10 раз дешевле, чем на линиях ионо­сферного рассеяния.

Расчеты для линий СТР показывают, что три надежности свя­зи, равной 99,95%, можно получить мощность шумов *в* канале, не выходящую за пределы норм (с применением компан­деров, дающих 8—10 *дБ* выигрыша в средне минутной мощности шумов в телефонном канале). Дальнейшее повышение надежности линии может быть получено использованием слежения по частоте. Линия СТР должна иметь для слежения цепь обратной связи, по которой на передаю­щий конец подается информация о состоянии тракта. В соответ­ствии с этой информацией, частота передатчика плавно изменяется, оставаясь, все время на максимуме коэффициента передачи тропосферы. Приемное устройство непрерывно подстраивается. Выиг­рыш от применения такой системы слежения равен 9—10 *дБ.* Од­нако применение ее затруднено необходимостью использования очень широкой полосы.

Увеличение запаздывания между компонентами многолучевого сигнала при СТР резко увеличивает мультипликативные помехи и, следовательно, кроме ухудшения энергетики приема, вызывает увеличение переходных помех при многоканальной телефонии. При передаче дискретной информации «память» канала ограничивает скорость передачи, поскольку появляются межсимвольные искаже­ния. Однако пропускная способность многолучевого канала падает незначительно (на 17%); более того, она может быть восстановле­на оптимальными методами передачи информации. Все существую­щие методы борьбы с мультипликативной помехой могут быть, -в принципе, разделены на следующие группы:

1. Метод накопления, при котором образуются несколько ко­пий принимаемого сигнала, по-разному пораженного мультипли­кативной помехой. Эти копии комбинируются.

2. Метод адаптивного приема, при котором производится не­прерывное или периодическое измерение характеристик среды рас­пространения. Данные этих измерений используются для оптими­зации выбора сигналов на передаче путем использования инфор­мационной обратной связи и оптимальной обработки сигналов на приеме.

3. Метод использования исправляющих кодов и обратной свя­зи после решений (postdecision feedback).

Применение того или иного метода определяется, с одной сто­роны, характеристиками канала связи, а с другой—передаваемой информацией и допустимыми искажениями. На многоканальных тропосферных РРЛ наибольшее распространение нашел первый.

При передаче дискретной информации вместо методов разне­сения, применяются методы, основанные на возможности разделения лучей в месте приема. Следует отметить, что представление принимаемого сигнала в виде конечной суммы лучей с амплитудами *Ui,* фазами φi и задержками τi  полностью согласуется с физической природой распространения только на коротких волнах. В канале ДТР не представляется возможным вы­делить один сильный луч, однако, тем не менее, представление сиг­нала в виде конечной суммы лучей правомочно. Если, например, полоса передаваемого сигнала Δfc, то сигнал может быть пред­ставлен суперпозицией лучей с задержками друг относительно дру­га, равными (по Котельникову); тогда число разделяемых лучей равно 2τК Δfс. Используя сигналы с широкой базой и корре­ляционный прием или прием на согласованный фильтр, можно разделить лучи во времени прихода. При этом запаздывание в каж­дом луче будет значительно меньше τК и, следовательно, уменьшатся искажения сигнала и мультипликативные помехи. При этом в зависимости от методов приема возможно либо выделение одного сильнейшего луча, либо использование нескольких лучей путем когерентного приема и суммирования всех лучей по напря­жению.



Разделимость лучей связана с наличием у широкобазного сиг­нала весьма быстро спадающей автокорреляционной функции. Если ширина пика автокорреляционной функции специально сконструи­рованного сигнала меньше минимального запаздывания между лу­чами и если каким-либо способом в точке приема был определен наиболее сильный луч (или группа лучей), то простой автокорре­ляционный приемник подавит все остальные лучи, как опережаю­щие, так и запаздывающие, в соответствии со значениями функции автокорреляции для времени, равного величине задержки этих лучей.

Выделение сильнейшего луча, а также и всех других, может быть осуществлено путем синхронизации местных сигналов каж­дым из лучей. После разделения лучей можно использовать всю энергию, сложив их. Основными недостатками таких систем яв­ляются значительное усложнение приемного оборудования и рас­ширение занимаемой полосы частот.

По методу приема сигналов с широкой базой различают кор­реляционный прием с помощью многоканального коррелятора с линией задержки с отводами и прием на согласованные фильтры. В первом случае в качестве опорного широкополос­ного сигнала используется бинарная псевдослучайная последова­тельность типа М-последовательности с последующей фильтрацией. Возможно применение также других псевдослучайных последова­тельностей (многофазные коды Фрэнка и др.). Основные их свойства — равномерность спектра в широкой полосе, острый пик автокорреляционной функции и малый пикфатор. Переход к М-позиционному кодированию позволяет в той же полосе увеличить ско­рость передачи в log2M раз по сравнению с бинарным кодирова­нием. При этом аппаратура усложняется (в ≈ *М* раз). В качестве опорных сигналов могут быть использованы разные М-последовательности, а также многочастотная и многофазная манипуляции. Для передачи аналоговой информации может быть использована относительно узкополосная частотная модуляция. При этом ЧМ сигнал на передаче (а затем и на приеме) перемножается с опорным псевдослучайным сигналом. Однако передача с помощью КИМ и Δ-модуляции считается более эффективной.

Серьезной проблемой считается синхронизация как тактовая, так и внутрибодная. Хотя сами широкополосные сигналы обла­дают хорошей разрешающей способностью по времени, но реали­зация этих свойств для разрешения многолучевости требует и соответствующей точности синхронизации. Имеются также большие трудности при конкретной реализации широкополосной линии задержки и схемы поиска при вхождении в связь.

При приеме на согласованные фильтры обычно используют внутриимпульсную линейную частотную модуляцию, например, с по­мощью дисперсионной ультразвуковой линии задержки. Используя линейную ЧМ с противоположным наклоном, можно переда­вать бинарные сигналы. На приеме согласованный фильтр предо­ставляет собой аналогичную передаче линию задержки.

Системы с широкобазными сигналами разрешают многолучевость на основе анализа импульсной реакции канала связи, т. е. используют эквивалентную модель канала, основанную на выбо­рочных значениях его импульсной реакции. Однако можно исполь­зовать эквивалентную модель канала, основанную на выборочных значениях передаточной функции канала (в таком случае удобно говорить не о многолучевости, а о селективных затираниях). Фор­мируя на передаче многочастотный сигнал, составленный из отрез­ков синусоид, и измеряя на приеме амплитуды и фазы этих частот, а затем, когерентно складывая их, получим оптимальную систему, производящую на приеме адаптацию или измерение и учет реаль­ных характеристик. Для измерения характеристик тракта распро­странения могут использоваться либо специальные сигналы, как, например, в системе с испытательным импульсом, либо ин­формационные сигналы. В качестве испытательного импульса удобно использовать импульс с ЛЧМ.

В целом оптимальный приемник оценивает состояние канала и оптимизирует свои характеристики (опорные сигналы). Такую оптимизацию возможно производить не только на приемном кон­це, но и на передающем, используя обратный канал. На многих линиях связи организовать такой канал несложно. Анализируя принимаемый сигнал, можно, например, просто изменять мощность передатчика в такт с федингом.

Выше уже говорилось, что при обратной связи, периодически исследуя большой диапазон частот и выбирая оптимальную часто­ту передачи, можно получить значительный выигрыш. Этот выиг­рыш зависит от полосы, занимаемой информационным сигналом, и от точности разрешения сигнала зондирования по частоте. Такой метод эквивалентен разнесению по частоте с автовыбором, однако порядок разнесения определяется как интервалом корреляции по частоте, так и точностью разрешения или числом исследуемых ча­стот в измерительном сигнале (следует, правда, отметить, что при автовыборе с увеличением порядка разнесения выигрыш растет мед­ленно, а кроме того, при увеличении полосы информационного со­общения выигрыш от работы на оптимальной частоте быстро па­дает). Основная трудность — обеспечить свипирование такой большом полосы частот. На участках СТР с большим запаздыванием лучей τК, вероятно, окажется достаточным исследовать канал свя­зи в полосе частот 20 *Мгц.* При этом возможна одновременная передача измерительного и информационного сигналов, причем для. передачи информации можно использовать аналоговые мето­ды модуляции, например, частотную, а в качестве опорного шумоподобный сигнал с равномерным спектром в полосе 20 *Мгц*. В процессе работы на приемном -конце в результате обра­ботки измерительного сигнала оценивается состояние канала во всем диапазоне п выбирается оптимальная частота, значение кото­рой кодируется и передается по каналу обратной связи. В прин­ципе, разрешающая способность измерительного сигнала может быть сделана очень большой, однако выигрыш такого метода це­ликом зависит от статистических свойств канала СТР.

В системах с обратным каналом связи можно менять не только частоту передатчика, но и девиацию (в случае ЧМ), число кана­лов, мощность передатчика или все одновременно. Основная осо­бенность—возможность передачи аналоговой информации, в от­личие от предыдущих систем, 'передающих только дискретную информацию.

Применение дискретизации и квантования аналоговой инфор­мации, т. е. переход к дискретной информации, дает возможность согласовать скорость передачи информации с полосой пропускания тракта при использовании обычных узкополосных методов моду­ляции. Это возможно, например, путем разбиения канала с высо­кой скоростью на *п* параллельных каналов (с разнесением их по (Времени и частоте) со скоростью передачи, в *п* раз меньшей. Воз­можно использование и многопозиционного кодирования. Перспективно использовать многоканальную систему, где в субканалах ис­пользуются многопозиционные 1коды. При этом аппаратура обла­дает большой гибкостью, так как при плохих условиях распро­странения легко увеличить порядок разнесенного приема за счет уменьшения скорости передачи.

**2.3. Повышение частотно-энергетической эффективности тропосферных систем связи**

Тропосферные линии связи занимают особое место среди различных видов связи, применяющихся на практике. Эти линии обеспечивают передачу дискретной информации со скоростями до 2 - 8 Мбит/с на интервалах связи 100-500 км в диапазоне частот до 8 ГГц при общей протяженности линий до 1000-2000 км. Средства связи этого типа превосходят другие в условиях организации связи в труднодоступных и малонаселенных районах, особенно расположенных в высокоширотных областях земного шара, а также при создании линий связи в чрезвычайных условиях, когда другие виды связи не эффективны.

Среди всех видов связи тропосферные линии являются одним из наиболее сложных в техническом отношении устройств. Эта сложность обусловлена характером распространения волн, который характеризуется как своими случайными параметрами, так и большими энергетическими потерями на трассе распространения. Поэтому вопросы, связанные с совершенствованием принципов построения таких систем всегда являются актуальными.

К таким вопросам относятся проблемы увеличения помехоустойчивости системы связи, которая напрямую связана с ее стоимостью. В условиях напряженной энергетики любое снижение требуемой мощности излучения приводит к существенному снижению массо-габаритных характеристик, а значит и стоимости станции. Увеличение помехоустойчивости должно производиться при минимизации занимаемой полосы частот. Проведем анализ эффективности различных вариантов построения тропосферных станций с учетом этих параметров: помехоустойчивости и частотной эффективности.

Традиционным способом повышения помехоустойчивости систем связи по каналам с переменными параметрами является разнесенный прием, который реализуется путем дублирования передаваемой информации по нескольким трактам передачи с независимыми замираниями уровня сигнала. Одновременно с этим большое развитие получила теория помехоустойчивого кодирования, которое является единственным средством повышения достоверности передачи информации без изменения энергетического потенциала радиолинии.

В последнее время в мировой литературе много внимания уделяется методам кодирования с хорошей частотно-энергетической эффективностью, при которой заданная помехоустойчивость достигается при минимально возможной полосе частот. Построение таких кодов возможно на базе ансамбля сигналов с основанием больше 2, в частности, когда элементами кода являются многофазные сигналы. Частотно-энергетически эффективные коды получили наименование сигнально-кодовых конструкций (СКК). Большой интерес представляет собой исследование целесообразности использования СКК в каналах с переменными параметрами вместо традиционного разнесенного приема. В системах с разнесенным приемом с ограниченным числом параллельных каналов наиболее подходящими являются блочные СКК.

Приведем результаты исследования частотно-эффективных методов построения систем связи по трактам с переменными параметрами и, в частности, тропосферных систем связи. В число этих результатов входит методика расчета вероятности ошибочного приема информации в каналах с замираниями при использовании блочных многофазных сигнально-кодовых конструкций (СКК), которая позволяет проводить анализ помехоустойчивости при коррелированных и некоррелированных замираниях в символах СКК.

**Помехоустойчивость систем с СКК в канале с независимыми релеевскими замираниями**

Исследуем помехоустойчивость систем когерентного приема в канале с независимыми релеевскими замираниями различных способов передачи информации, среди которых рассматриваются методы многократной фазовой манипуляции с использованием кода Грея, двоичные коды с фазовой манипуляцией, блочные сигнально-кодовые конструкции.

В качестве параметра частотно-энергетической эффективности возьмем зависимость отношения "сигнал/шум" - h20 =f(g), необходимого для получения заданной вероятности ошибки p, где g=Ts/To=k/n - частотная эффективность, Ts - длительность тактового интервала СКК, To - длительность тактового интервала в информационной последовательности, k-число информационных символов, n - число символов кода, h20 =s2T0/n2ш -отношение "сигнал/шум" в полосе некодированной передачи, s2 -дисперсия сигнала, n2ш -спектральная плотнсть шума.

Рассмотрим СКК, построенные на основе хэммингового расстояния 2-го порядка, которое обозначим через М(n1,k). Здесь k - число информационных символов, n -число элементов в СКК 2-го типа, n1 =2n -число элементов в исходном двоичном коде. Перечень СКК, рассмотренных в данной статье, приведен в табл. 1.

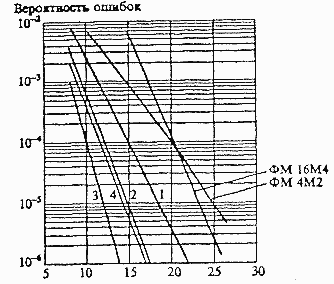
Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование исходного кода | Условное обозначение кода | Длина СКК, 1n |
| Расширенный код Хэмминга (8,4) | М(8,4) | 4 |
| Код Нордстрома-Робинсона (16,8) | М(16,8) | 8 |
| Код Голея (24,12) | М(24,12) | 12 |
| Код Рида-Малера(32,16) | М(32,16) | 16 |

Для исследования помехоустойчивости четырехфазных сигнально-кодовых конструкций из табл. 1 методом перебора на ПЭВМ были получены спектры эквивалентных кодовых слов и спектры условных вероятностей ошибки приема одного символа df. Эти СКК обладают одинаковой частотной эффективностью g=1 такой же, как и у некодированной однократной фазовой манипуляции (ФМ2).

Зависимости вероятности ошибки от отношения "сигнал/шум",требуемого для достижения вероятности ошибки p=104, для этих СКК приведены на рис. 1 (номер кривой соответствует порядковому номеру СКК из табл. 1).

Рисунок 2.4.1 – График вероятности ошибок



На этом же рисунке для сравнения нанесены зависимости для ФМ4 с двумя повторениями символов (m=2) и ФМ4 с m=4, которые обладают той же избыточностью. Из рис 1. следует, что без расширения полосы частот можно получить существенный выигрыш в энергетике за счет использования СКК по сравнению с некодированной ФМ2, или по сравнению с системами с фазовой модуляцией большей кратности. Наилучшей помехоустойчивостью из рассмотренных обладает СКК М(24,12) на основе кода Голея, для которой вероятность ошибки p=104 обеспечивается при отношении "сигнал/шум" h=10,5 дБ. В этом случае выигрыш в помехоустойчивости по сравнению с ФМ4 составит около 10 дБ.

Оценивая полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. традиционные методы передачи информации по каналу с замираниями, в которых используется только разнесенный прием (простое повторение сигналов), не являются частотно-энергетически эффективными методами;
2. высокой эффективностью обладают четырехфазные сигнально-кодовые конструкции, среди которых следует выделить четырехэлементную СКК на основе кода Хэмминга (кривая 1), восьмиэлементную СКК на основе кода Нордстрома-Робинсона (кривая 2) и 12-элементную СКК на основе кода Голея (кривая 3).

**Пространственно-частотные сигнально-кодовые конструкции**

При построении систем тропосферной связи приходиться учитывать тот факт, что декорреляция символов методом временного перемежения не всегда приемлема. Это связано с тем, что для передачи речевого сообщения существует ограничение на допустимую задержку сообщения, а при перемежении такая задержка принципиально присутствует и существенно зависит от длины кодового слова и числа интервалов в многоинтервальной тропосферной радиолинии.

Учитывая это обстоятельство и тот факт, что основными видами информации в тропосферных системах связи как аналоговых, так и цифровых, являются многоканальные сообщения, включающие в себя и телефонные каналы , при построении тропосферных средств связи нашли применение в основном методы декорреляции сигналов по пространственно-частотным разнесенным трактам передачи.

В реальных системах связи, например, тропосферных, число каналов разнесения обычно ограничено (2,4,8,16). Наряду с простым повторением одного и того же сигнала по параллельным каналам, как это делается при разнесенном приеме, можно преобразовать входную информацию в комбинации сигналов, используя идеи совмещения модуляции и кодирования без расширения суммарной полосы частот и с выигрышем по помехоустойчивости. В случае указанных выше систем этот метод приводит к пространстенно-частотным сигнально-кодовым конструкциям (ПЧСКК).

Был проведен анализ помехоустойчивости различных вариантов сигналообразования в системе связи с ПЧСКК. Отличительной особенностью ПЧСКК по сравнению с рассмотренными СКК, является необходимость обязательного учета повторений элементов СКК, дублированных в ветвях разнесения, а также рассмотрение вариантов, где символы СКК коррелированы.

В табл. 2 приведены параметры помехоустойчивости СКК из табл. 1, т.е. отношение "сигнал/шум", требуемое для достижения вероятности ошибки p=10-4 при различном числе разнесений m.

Таблица 2

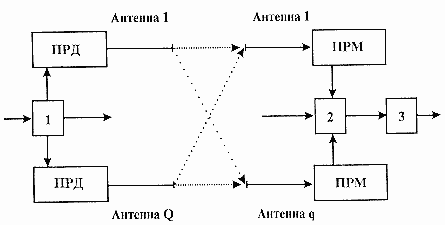
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число разнесений, м | Отношение "сигнал-шум" для СКК, дБ | | | | |
| М(8,4) | М(16,8) | М(24,12) | М(32,16) | ФМ4,1м |
| 1 | 39,6/15,0 | 45,2/12,1 | 52/10,1 | 52/11,6 | 35,6 |
| 2 | 20,6/10,3 | 22,7/8,4 | 25,3/7,3 | 25,3/7,6 | 19,3 |
| 3 | 15,1/8,9 | 15,9/7,3 | 17,3/6,4 | 17,3/6,4 | 15,1 |
| 4 | 12,6/8,25 | 12,8/6,8 | 13,7/6,0 | 13,7/6,0 | 13,1 |
| 5 | 11,2/7,9 | 11,1/6,55 | 11,6/5,75 | 11,6/5,75 | 12,1 |
| 8 | 9,2/7,3 | 8,2/- | 8,8/- | 8,8/- | 10,6 |
| 16 | 7,7/6,9 | 7,0/- | 6,7/- | 6,7/- | 9,5 |
| бесконечн. | 6,4/6,4 | 5,5/5,5 | 4,8/4,8 | 4,8/4,8 | 8,4 |

*Примечание. В числителе - при коррелированных замираниях в элементах СКК; в знаменателе - при некоррелированных замираниях*

Рассмотрим два варианта сигналообразования.

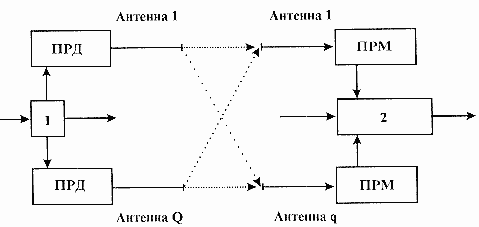
В первом варианте замирания в элементах кодового слова полностью коррелированы, а сигналы разнесения некоррелированы. Блок-схема такой системы связи приведена на рисунке 2.4.2.

Рисунок 2.4.2 – Блок-схема системы связи



Во втором варианте сигналообразования замирания в элементах кодового слова некоррелированы и сигналы разнесения некоррелированы. Блок-схема такой системы связи приведена на рисунке 2.4.3.

Рисунок 2.4.3 – Блок схема системы связи



Для сравительного рассмотрения взяты: двухантенная система связи (Q=2 антенн на передающей стороне, q=2 антенн на приемной стороне) и четырехантенная система связи (Q=4 антенн на передающей стороне, q=4 антенн на приемной стороне).

Сравнительные характеристики вариантов приведены в табл. 3 (двухантенная система) и 4 (четырехантенная система).

Таблица 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Значения параметров для | | |
| ФМ4ч | ФМ4 | СКК-М(8,4) |
| k | 2 | 2 | 4/4/4 |
| n | 1 | 1 | 4/4/4 |
| m | 4 | 16 | 4/2/4 |
| y | 1 | 0,25 | 0,5/1/0,25 |
| h 20 | 7,1 | 3,5 | 6,6/4,3/2,25 |

*Примечание. Значения для М(8,4) приведены соответственно для ПЧСКК1 (корр.)/ПЧСКК2 (некорр.)/ПЧСКК3 (некорр.)*

Таблица 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Значения параметров для | | | |
| ФМ4 16 | М(8,4) | М(16,8) | М(24,12) |
| k | 2 | 4/4 | 8/8 | 12/12 |
| n | 1 | 4/4 | 8/8 | 12/12 |
| m | 16 | 16/16 | 16/8 | 16/4 |
| y | 0.5 | 0.25/0.25 | 0.25/0.5 | 0.25/1 |
| h 20 | -2.5 | -4.3/-5.1 | -5/-5.5 | -5.3/-6.0 |

*Примечание. М(8,4): в числителе - ПЧСКК4 (корр.),в знаменателе для ПЧСКК5 (некорр.); М(16,8) - ПЧСКК6 (корр.)/ПЧСКК7 (некорр.); М(24,12)-ПЧСКК8 (корр.)/ПЧСКК9 (некорр.)*

В табл. 3 собраны данные для следующих вариантов построения двухантенной системы:

ФМ44 - четырехфазная манипуляция (одна антенна излучает символ информации на частоте f1, а вторая антенна дублирует его на частоте f2). При этом обеспечивается четырехкратный разнесенный прием;

ФМ416 - четырехфазная манипуляция (одна антенна повторяет один символ информации на четырех не перекрывающихся по времени частотах, а вторая антенна повторяет его на тех же частотах следующих друг за другом так, чтобы можно было различать повторяющиеся элементы на приемной стороне. При этом обеспечивается шестнадцатикратный разнесенный прием;

М(8,4) кор.(ПЧСКК1) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга, образованная в системе по рисунку 2.4.2.

М(8,4) некор. (ПЧСКК2) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга, образованная в системе по рисунку 2.4.3. Здесь первые два элемента СКК на передаче излучаются первой антенной на отдельных частотах без их временного перекрытия, а другие два элемента СКК - другой антенной на тех же частотах, следующих в другой последовательности для того, чтобы уметь различать все элементы на приеме;

М(8,4) некор. (ПЧСКК3) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга, образованная в системе по рисунку 2.4.3. Здесь каждый элемент СКК на передаче излучается одной антенной на отдельной частоте без их временного перекрытия и дублируется второй антенной на тех же частотах, следующих в другой последовательности для того, чтобы уметь различать все элементы на приеме.

В табл. 4 приведены данные для следующих вариантов построения двухантенной системы.

ФМ4- четырехфазная манипуляция (одна антенна излучает символ информации на частоте f1, вторая антенна дублирует его на частоте f2, третья антенна дублируется на частоте f3, а четвертая антенна - на частоте f4). При этом обеспечивается шестнадцатикратный разнесенный прием;

М(8,4) кор.(ПЧСКК4)-сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга, образованная в системе по рисунку 2.4.2;

М(8,4) некор. (ПЧСКК5) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга, образованная в системе по рисунку 2.4.3. Здесь каждый элемент СКК на передаче излучается одной антенной на отдельной частоте без их временного перекрытия и дублируется второй, третьей и четвертой антенной на тех же частотах, следующих в другой последовательности для того, чтобы различать все элементы на прием;

М(16,8) кор. (ПЧСКК6) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга образованная в системе по рисунку 2.4.2;

М(16,8) некор.(ПЧСКК7) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга образованная в системе по рисунку 2.4.3. Здесь первые четыре элемента СКК на передаче излучаются первой антенной на отдельной частоте без их временного перекрытия и дублируются второй антенной на тех же частотах, а последние четыре элемента излучаются третьей антенной на тех же частотах и дублируются четвертой антенной. На всех антеннах выбран различный порядок следущих друг за другом частот для того, чтобы в один и тот же момент времени всеми антеннами излучались различные частоты и тем самым различались все элементы на прием;

М(24,12) кор.(ПЧСКК8) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга, образованная в системе по рисунку 2.4.2;

М(24,12) некор.(ПЧСКК9) - сигнально-кодовая конструкция на основе расширенного кода Хэмминга, образованная в системе по рисунку 2.4.3. Здесь каждый элемент СКК на передаче излучается одной антенной на отдельной частоте без их временного перекрытия и дублируется второй, третьей и четвертой антенной на тех же частотах, следующих в другой последовательности для того, чтобы различать все элементы на прием.

В табл. 3 и 4 для каждого варианта приведены сравниваемые параметры: число информационных символов - k, число символов СКК - n, число пространственно-частотных разнесений - m, коэффициент частотной эффективности - g=k/nW, число частотных подканалов - W, на которых продублированы символы СКК, среднее отношение "сигнал/шум" h2 в полосе частот передаваемой информации на входе одной ветви разнесения, необходимое для достижения вероятности ошибки p=10-4 одного символа информации. На основе анализа данных из табл. 3 и 4 можно сделать следующие выводы. В системе, где используются две антенны без расширения полосы частот, применение четырехэлементных СКК при независимых замираниях в элементах (ПЧСКК2) позволяет получить выигрыш в отношении "сигнал/шум" по сравнению со счетверенным разнесенным приемом ФМ44 в 2,8 дБ. При увеличении полосы частот в 4 раза путем четырехкратного повторения сигнального символа кратность разнесения может быть увеличена до 16 (обозначим четырехфазную систему манипуляции с 16-кратным приемом ФМ416). За счет этого выигрыш в отношении "сигнал/шум" увеличится на 3,6 дБ, в то время как при использовании ПЧСКК3, построеноой на основе СКК М(8,4) этот выигрыш составит 4,85 дБ.

При коррелированных символах ПЧСКК 1 дает незначительное уменьшение требуемого отношения "сигнал/шум" до 0,5 дБ. В системе, где используются четыре антенны без расширения полосы частот, применение четырехэлементных СКК при независимых замираниях в элементах (ПЧСКК 5) позволяют получить выигрыш в отношении "сигнал/шум" по сравнению с шестнадцатикратным разнесенным приемом ФМ416 в 2,6 дБ. При коррелированных символах ПЧСКК4 дает уменьшение требуемого отношения "сигнал/шум" до 1,8 дБ.

При использовании ПЧСКК больших размерностей разница в помехоустойчивости между вариантами с коррелированными и некоррелированными замираниями элементов сигнала становиться незначительной (не более 1 дБ). По сравнению с 16-кратным приемом ФМ416 этот выигрыш для разных вариантов колеблется в пределах от 2,5 до 3,5 дБ.

Таким образом,  на основании проведенных исследований можно сделать общий вывод, что применение ПЧСКК в системах с разнесенным приемом и, в частности, в тропосферных системах связи, позволит получить дополнительные выигрыши в помехоустойчивости без существенного увеличения полосы частот.

**заключение**

**Проблема электромагнитной совместимости (ЭМС).** РРЛ, ТРЛ и спутниковые линии связи работают в общем диапазоне частот. При этом между ними могут возникать взаимные помехи. С целью уменьшения взаимных помех радиопередатчики формируют радиосигнал с минимальной полосой частот, достаточной для передачи информации с заданной скоростью и качеством, которая называется *необходимая ширина полосы частот* (НШЧ), а радиосигнал с такой полосой частот — *основное излучение радиопередатчика.* Любое излучение радиопередатчика за пределами НШЧ называют *нежелательным радиоизлучением.* При работе нескольких линий радиосвязи в общих полосах частот, прием полезного сигнала каждой радиостанцией возможен при распределении диапазона частот между передающими радиостанциями по определенному плану; ограничении мощности передатчиков; координации взаимной ориентации антенн и расположения станций на местности. При выполнении этих условий обеспечивается ЭМС между РРС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Серов «Оценка частотно-энергетической эффективности двоичных кодов и сигнально-кодовых конструкций при идеальном когерентном приеме в каналах с релеевскими замираниями», «Радиотехника и электроника», 1992, N 8.
2. В.В. Серов «Помехоустойчивость пространственно-частотных кодовых конструкций в каналах с релеевскими замираниями», «Радиотехника», N9, 1995.
3. А.И. Раков «Надежность РРС связи», «Связь», М., 1971.
4. М.М. Маковеева «РРЛ связи» М., 1988-312с., «Радио и связь».
5. В.В. Марков «Малоканальные РРЛ связи», «Сов. Радио», М., 1963.
6. И.А. Гусятинский и др. «Дальнее тропосферное рассеивание», «Связь», М., 1968.