

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ИКТСС
канд. техн. наук, доц.


В. В. Никулин
(подпись)

«11» ноября 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
РАЗРАБОТКА ПРИЕМНОГО МОДУЛЯ НАЗЕМНОГО СЕКМЕНТА
СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Автор бакалаврской работы

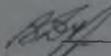

10.06.19г.
(подпись) (дата)

Ю. И. Доронкина

Обозначение бакалаврской работы БР-02069964-11.03.02-03-19

Направление: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Руководитель работы


10.06.19г.
(подпись) (дата)

В. С. Дубровин

канд. техн. наук, доц.

Нормоконтролер


10.06.19г.
(подпись) (дата)

Е. А. Кошечая

канд. культурологии, доц.

Саранск
2019

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ИКТСС
канд. техн. наук, доц.

 В. В. Никулин
(подпись)

« 15 »  2018 г.

ЗАДАНИЕ НА БАКАЛАВРСКУЮ РАБОТУ

Студент Доронькина Юлия Ивановна

1. Тема «Разработка приемного модуля наземного сегмента спутниковой системы связи»

Утверждена приказом № 10335-с «14» декабря 2018 г.

2. Срок представления работы к защите 10 января 2019 г.

3. Исходные данные к работе:

3.1 Местоположение наземной станции: с. Новая Авгура, Респ. Мордовия.

3.2 Характеристики спутника Intelsat 33e:

Орбитальная позиция: 60° в.д.;

Мощность передатчика $P_{\text{ПРД}} = 53,4$ дБ·Вт;

Коэффициент усиления передающей антенны: $G_{\text{ПРД}} = 38,7$ дБи.

4. Содержание выпускной квалификационной работы:

- 4.1 Принципы построения систем спутниковой связи
- 4.2 Спутниковое телевидение
- 4.3 Постановка задачи
- 4.4 Разработка приемного модуля

Руководитель работы


Иванов, 2019

В. С. Дубровин

канд. техн. наук, доц.

Задание принял к исполнению


Иванов, 2019

Ю. И. Дороньтине

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 70 страниц, 18 рисунков, 26 формул, 3 таблицы, 22 используемых источника.

СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ, ПРИЕМНЫЙ МОДУЛЬ, ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ПРИЕМНИК, СПУТНИКОВАЯ АНТЕННА, КОНВЕРТОР.

Объектом исследования является телевизионный приемный модуль спутниковой системы связи.

Цель работы – проанализировать литературу по теме данной работы, разработать приемный модуль спутниковой системы связи для телевидения.

В процессе работы использовались научная литература и интернет источники. Изучены технологии построения цифрового спутникового телевидения.

Также проводились расчеты основных характеристик линии связи и основных параметров приемного модуля.

БР-02069964-11.03.02-03-19

| Изм | Лист | № докум | Подпис | Дата | Разработка приемного модуля наземного сегмента спутниковой системы связи | Лит. | Лист | Листов |
|----------|------|------------|--------------------|----------|--|------|------|--------|
| Разраб | | Доронькина | <i>[Signature]</i> | 10.06.19 | | | | 4 |
| Провер | | Дубровин | <i>[Signature]</i> | 10.06.19 | | | | |
| Реценз | | | | | | | | |
| И. Контр | | Кошечая | <i>[Signature]</i> | 10.06.19 | | | | |
| Утверд | | Никулин | <i>[Signature]</i> | 10.06.19 | | | | |

ИЭС, ИКТСС, 431

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| 1 Принципы построения систем спутниковой связи | 6 |
| 1.1 Орбиты искусственных спутников Земли | 8 |
| 1.2 Полосы частот систем спутникового вещания | 13 |
| 1.3 Особенности передачи сигналов в спутниковых системах связи | 14 |
| 2 Спутниковое телевидение | 17 |
| 2.1 Принцип работы спутникового телевидения | 17 |
| 2.2 Методы формирования и передачи спутниковых телевизионных сигналов | 19 |
| 2.3 Основные стандарты вещания спутникового телевидения | 22 |
| 2.4 Технология построения спутниковой связи VSAT | 24 |
| 2.5 Топологии построения сетей VSAT | 27 |
| 2.6 Оборудование для приема телевизионного сигнала | 33 |
| 3 Постановка задачи | 41 |
| 3.1 Физико-географическое положение абонентского приемника | 41 |
| 3.2 Обзор существующих операторов спутникового ТВ | 42 |
| 3.3 Спутниковая группировка | 46 |
| 4 Разработка приемного модуля | 49 |
| 4.1 Расчет геометрических соотношений | 49 |
| 4.2 Расчет потерь энергии сигнала при распространении по спутниковой линии | 52 |
| 4.3 Разработка приемного комплекта | 61 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 67 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 68 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 5 |

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время человек живет в глобальном мире, характеризующейся огромной степенью информационности. Массовая коммуникация является обязательной частью существования современного человека, не мыслящий себя вне её границ.

Усовершенствование технологий связи привело к созданию глобальных сетей для передачи немалых объемов информации с высокой скоростью и надежностью. Основным способом реализации глобальной и региональной сетей связи стало применение оптоволоконных кабелей и спутниковых систем связи, на часть которых на данный момент приходится четверть общего всемирного трафика.

В текущее время связь необходима как для военных задач, так и для гражданских. Передовые организации и предприятия характеризуются немалым объемом разнотипной информации, в большей части электронной и телекоммуникационной, проходящей через них ежедневно. В связи с этим очень важно обладать высококачественным выходом на коммутационные узлы, обеспечивающие доступ на все необходимые коммуникационные направления. В России, где большие расстояния между населенными пунктами, а качество связи наземных линий не очень высокая, хорошим решением данной задачи является использование спутниковой системы связи. Следовательно, вопрос о приемных и передающих устройствах и антеннах, которые входят в спутниковую связь, является актуальным в настоящее время.

Под спутниковой связью понимается один из видов радиосвязи, основанный на использовании искусственных спутников земли в качестве ретрансляторов. Спутниковая связь осуществляется между земными станциями, которые могут быть как стационарными, так и подвижными. Спутниковая связь является развитием традиционной радиорелейной связи путем вынесения ретранслятора на очень большую высоту (от десятков до сотен тысяч километров). Отрасль

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 6 |

спутниковой связи и вещания является важнейшим элементом мирового рынка телекоммуникаций. Динамика, структура и тенденции развития этой сферы деятельности зависят от экономического состояния мировой экономики в целом, так и отдельных регионов и ряда других факторов. Спутниковые системы связи (ССС) внедряют не только промышленно развитые страны с разнообразными современными сетями телекоммуникаций, но и развивающиеся государства. Новые спутниковые приложения обеспечивают быстрое создание новых широкоэмитательных служб и частных сетей.

В рамках этого направления осуществляется как создание и запуск космических аппаратов, так и внедрение новых высоких технологий в области микроволновых и микропроцессорных устройств. В связи с этим все наиболее серьезные события на рынке телекоммуникаций в той или иной мере сказываются и на развитии спутниковой связи.

В данной работе будет рассмотрена система передачи телевизионного сигнала. Спутниковое телевидение – это способ передачи видеоданных посредством ретрансляции сигнала через искусственный спутник Земли (ИСЗ). Технология ретрансляции данных через ИСЗ на сегодняшний день является одной из самых востребованных, так как позволяет принимать устойчивый сигнал практически в любой точке планеты.

Главным достоинством спутниковой ретрансляции сигнала является большая ширина канала передачи данных. Именно это свойство определяет одно из важных преимуществ СТВ – высокое качество изображения и большое количество телевизионных каналов. Учитывая доступную стоимость передачи сигнала искусственного спутника Земли, получим лучшее соотношение цена/качество трансляции, и это соотношение вызвало благоприятные условия для интенсивного развития спутникового телевидения в последнее время.

Работа заключается в разработке абонентского устройства на приемной стороне системы спутникового цифрового телевизионного вещания K_u диапазона 10,7... 12,75 ГГц.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 7 |

1 Принципы построения систем спутниковой связи

1. 1 Орбиты искусственных спутников Земли

Принцип спутниковой связи заключается в ретрансляции аппаратурой спутника сигнала от передающих наземных станций к приёмникам. Спутник представляет собой устройство связи, принимающее сигналы от земной станции (ЗС), который в последующем усиливает и транслирует их в широкоэвещательном режиме одновременно на все ЗС, которые находятся в зоне видимости спутника. Принцип связи с помощью ИСЗ заключается в передаче сигналов с одной или нескольких земных станций на ИСЗ с их последующей ретрансляцией всем ЗС системы.

В настоящее время человечество использует несколько видов орбит для размещения спутников. Рассмотрим низкоорбитальную, геостационарную и эллиптическую системы. Орбита представляет собой траекторию движения искусственного спутника Земли. Во время свободного полета спутника, когда его бортовые реактивные двигатели выключены, движение происходит под воздействием гравитационных сил и по инерции, причем главной силой является притяжение Земли [1].

Одним из новых направлений развития спутниковой связи с начала 90-х годов стали системы связи на базе низкоорбитальных космических аппаратов. Низкоорбитальные спутники LEO (Low Earth Orbit) это космические аппараты (КА), высота орбит которых находится в пределах 700 – 1500 км.

В низкоорбитальной группировке может содержаться от одного до нескольких десятков малых спутников массой до 500 кг. Для охвата связью большой территории Земли применяют орбиты, на которых могут находиться несколько КА, лежащие в различных плоскостях. На рисунке 1 изображено расположение круговой орбиты относительно Земли.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 8 |

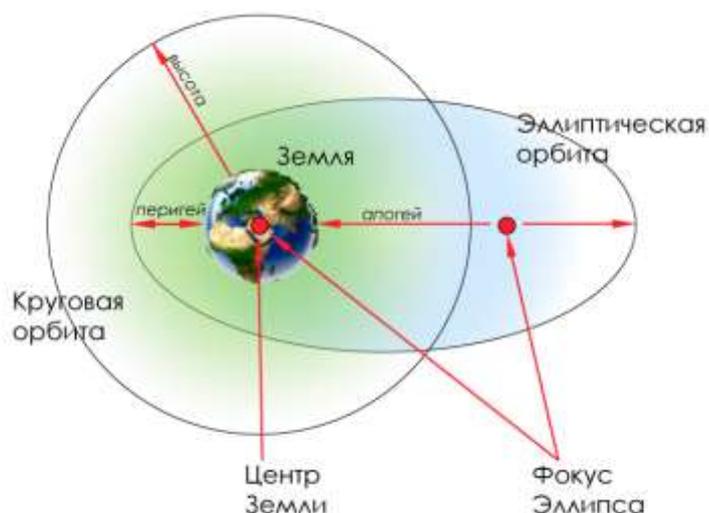


Рисунок 1 – Эллиптическая и круговая орбиты

Рекомендуемый уровень мощности непрерывного излучения радиотелефона должен составлять не более 50 мВт. Эффективный прием сигнала такой мощности, например, геостационарным спутником сопряжен со значительным усложнением КА, развертыванием больших антенн и точным их позиционированием. Для низкоорбитальных спутниковых систем длина радиолиний во много раз меньше, и проблема создания многолучевых антенн менее остра. К этим системам относятся, прежде всего, системы Iridium и Globalstar. Эти системы были созданы зарубежными консорциумами при участии таких крупных компаний-производителей, как Motorola/Lockheed и Qualcomm/Logal соответственно [2].

Эллиптические спутниковые орбиты часто называют высокой эллиптической орбитой (ВЭО). Такая орбита следует по кривой эллипса. Одной из ключевых особенностей эллиптической орбиты является то, что спутник, вращающийся по такой орбите вокруг Земли, движется по ней быстрее, когда он находится ближе к её поверхности, и замедляет свою скорость при удалении от нашей планеты. Расположение эллиптической орбиты относительно Земли показано на рисунке 1.

Каждый эллипс имеет два центра, и в случае эллиптической орбиты один из них совпадает с центром Земли. Ещё одной особенностью эллиптической орбиты является наличие двух важных точек на ней. Одна из них расположена в месте наибольшего удаления от Земли. Эта точка известна, как апогей – в ней скорость движения космического аппарата снижается до минимальных показателей, так как здесь сила земной гравитации ощущается менее всего. Точка, в которой спутник находится ближе всего к Земле, известна как перигей – при проходе через неё спутник движется с наибольшей скоростью [3].

Преимущества эллиптических орбит стали причиной размещения на них многих спутников, особенно в тех случаях, когда необходимо чтобы данные спутники обладали определёнными свойствами, например, спутник должен передавать и принимать сигналы в полярных и высоких областях.

Использование ВЭО может обеспечить покрытие сигналом любой точки Земного шара. Движение таких орбит не ограничено экваториальными линиями (как в случае с геостационарными орбитами). Вследствие этой особенности (обеспечение надёжного покрытия сигналом высоких и полярных широт) ВЭО активно используются такими странами, как Россия, значительная часть которой как раз и расположена в области полярного круга и высоких широт.

Наличие двух спутников на эллиптической орбите обеспечивает непрерывную космическую связь. Однако позиция спутника на ней относительно наземной станции постоянно меняется, что является недостатком эллиптической орбиты [3].

Весьма популярной спутниковой орбитой является геостационарная орбита (ГСО). Она используется для размещения спутников многих типов, включая спутники, ведущие прямое телерадиовещание, спутники, обеспечивающие связь, а также релейные системы. Преимуществом геостационарной орбиты является то, что спутник, находящийся на ней, постоянно располагается в одной и той же позиции над экватором на высоте около 35 786 км от среднего уровня моря, что

позволяет направлять на него фиксированную антенну наземной станции. Расположение орбиты относительно Земли показано на рисунке 2.

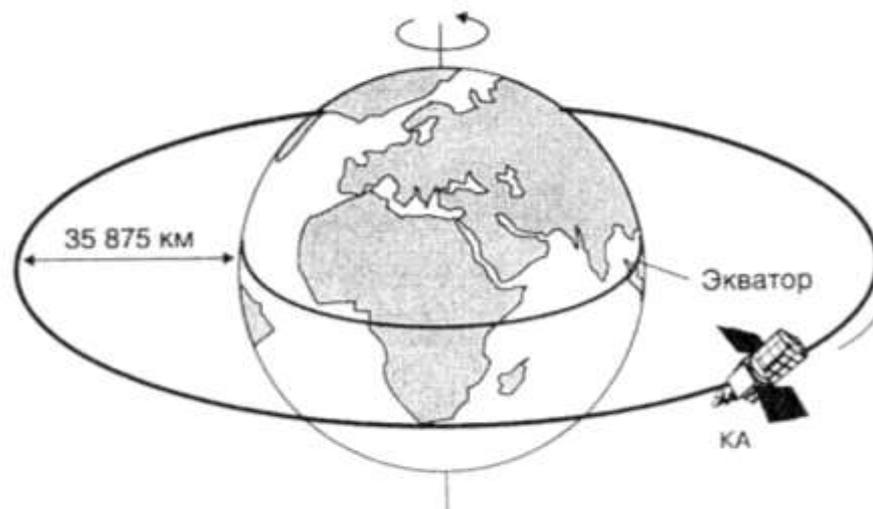


Рисунок 2 – Геостационарная орбита

Спутник, который находится на такой орбите, совершает один оборот вокруг Земли точно за одни земные сутки. Если направление его движения совпадает с направлением вращения Земли, то с поверхности Земли он кажется неподвижным.

Приведем еще некоторые преимущества, которые являются важными при организации глобальной связи:

- отсутствие перерывов связи вследствие взаимного перемещения КА и пользовательского терминала во время сеанса связи;
- охват связью 95% поверхности Земли системой, состоящей всего из трех геостационарных спутников;
- отсутствие необходимости в организации межспутниковой связи (в отличие, например, от низкоорбитальных систем);
- простота организации связи в глобальном масштабе [2].

Известно, что большинство абонентских спутниковых терминалов, использующих технологию VSAT (Very Small Aperture Terminal), обслуживаются

спутниками-ретрансляторами, находящимися на геостационарной орбите. Подробнее технология VSAT рассмотрена в главе 2.

Высота ГСО довольно высока, поэтому у таких спутниковых систем есть значительный недостаток: длительная задержка между передачей и приемом сигнала. Кроме того, дополнительная задержка вносится атмосферой и приемопередающим оборудованием терминалов VSAT и ретрансляционным спутником.

Действительно, так как геостационарная орбита расположена на расстоянии приблизительно 36000 км от поверхности Земли, то задержка из-за конечной скорости распространения радиосигнала составит около 260 мс в одном направлении, если же сигнал проходит путь до спутника-ретранслятора и обратно, то задержка составит 520 мс. Остальные перечисленные источники задержки не играют большой роли.

Отметим, что недостатками такой линии связи является перенасыщенность ГСО на многих областях, а также невозможность обслуживания полярных областей.

Однако, несмотря на все имеющиеся недостатки геостационарной орбиты, спутники, расположенные на ней, широко используются во всём мире благодаря главному их преимуществу, которое способно перевесить все недостатки: геостационарный спутник всегда находится в одной орбитальной позиции относительно той или иной точки на Земле, как было сказано ранее.

Для спутникового телевидения используются спутники, находящиеся на ГСО, поэтому антенна пользователя неподвижна. Обычно спутниковая антенна настраивается по двум координатам (рисунок 3): азимуту (отклонение самого спутника от направления в сторону “Север” и плоскостью горизонта, определяемая по часовой стрелке) и углу места (угол между плоскостью горизонта и направлением на спутник).

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 12 |

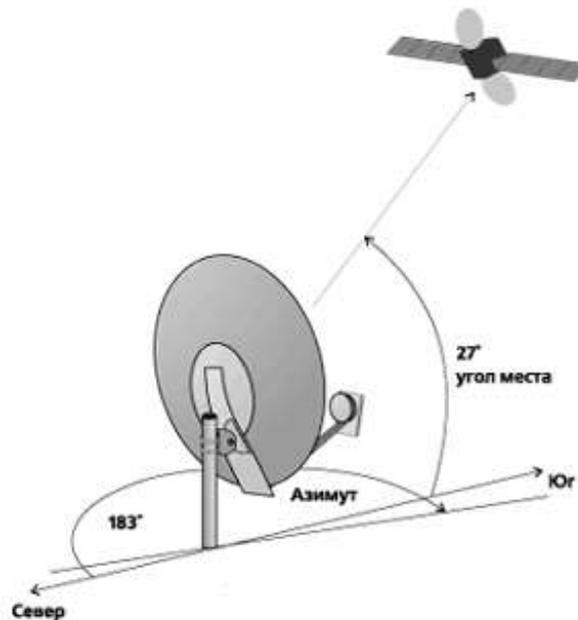


Рисунок 3 – Угол места β и азимут α земной станции

1.2 Полосы частот систем спутникового вещания

Вопросами распределения полос частот между различными службами радиосвязи занимается одна из специализированных организаций ООН – Международный союз электросвязи (МСЭ), который на базе исследований, проводимых в странах – членах МСЭ и представляемых Международному консультативному комитету по радио (МККР), на своих административных конференциях разрабатывает соответствующие регламентирующие правила и процедуры. Основной международный документ, который регламентирует использование частот – Регламент радиосвязи. Он содержит Таблицу распределения полос частот между службами, отдельные технические ограничения, налагаемые при совместном использовании частот различными службами, процедуры для систем координации и правила регистрации частотных присвоений в Международном комитете регистрации частот [4].

Для систем спутникового вещания выделены полосы частот (таблица 1). Диапазоны K_a и K – почти не используются и в настоящий момент считаются

экспериментальными. Однако вещание спутниковых телепрограмм в этих диапазонах позволит значительно уменьшить диаметр приемных антенн.

Таблица 1– Полосы частот систем спутникового вещания

| Наименование диапазона | Полоса частот, ГГц |
|---------------------------|-------------------------------|
| L – диапазон | 1,452 – 1,550 и 1,61 – 1,71 |
| S – диапазон | 1,93 – 2,70 |
| C – диапазон | 3,40 – 5,25 и 5,725 – 7,075 |
| X – диапазон | 7,25 – 8,40 |
| K _u – диапазон | 10,70 – 12,75 и 12,75 – 14,80 |
| K _a – диапазон | 15,4 – 26,5 и 27,0 – 50,2 |
| K – диапазон | 84-86 |

1.3 Особенности передачи сигналов в спутниковых системах связи

Рассмотрим некоторые параметры при передаче сигналов спутниковой связи.

Запаздывание сигнала

Большая длина линий связи между ЗС и ретранслятором, находящимся на борту ИСЗ, приводит к задержке сигналов. Это определяется тем, что сигналу требуется время, чтобы пройти расстояние между ЗС. Время определяется по формуле (1):

$$t \cong \frac{2H}{c}, \quad (1)$$

где H – расстояние от спутника до поверхности Земли;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света.

Таким образом, при $H = 35786$ км (случай геостационарного спутника) величина запаздывания составит приблизительно [4]:

$$t \cong \frac{72000 \text{ км} \cdot \text{с}}{3 \cdot 10^8 \text{ м}} \cong 250 \text{ мс} .$$

Эхосигналы

Запаздывание сигналов приводит к появлению заметных для абонентов эхосигналов, которые проявляются в виде прослушивания абонентом своего разговора, задержанного на время, равное удвоенному времени распространения сигнала между абонентами, то есть

$$t_{\text{эс}} = \frac{4H}{c} . \quad (2)$$

Так для систем связи, использующих геостационарные спутники:

$$t \cong 2 \cdot 250 = 500 \text{ мс} .$$

В этих случаях следует обеспечить затухание эхосигналов до величины, равной 60 дБ относительно уровня полезного сигнала.

Эффект Доплера

Это физическое явление, заключающееся в изменении частоты принятых колебаний при взаимном перемещении передатчика и приёмника этих колебаний. Эффект Доплера наибольший, если движение передатчика относительно приёмника происходит вдоль линии связи:

$$\Delta f = \frac{f_0 V}{c} , \quad (3)$$

где f_0 – частота несущего колебания;

V – скорость передатчика.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 15 |

Таким образом, при сближении передатчика и приёмника частота радиколебаний возрастает пропорционально V/c , при удалении – уменьшается по тому же закону.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>БР-02069964-11.03.02-03-19</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 16 |

2 Спутниковое телевидение

2.1 Принцип работы спутникового телевидения

Телевидение на протяжении многих лет является неотъемлемой частью нашей жизни. Трудно представить себе какой-либо дом, в котором не было бы телевизора. Однако обычное телевидение ограничивает возможности потребителя.

Спутниковое телевизионное вещание – это передача телевизионных сигналов и радиопрограмм от наземных передающих станций к приемным через космический спутник-ретранслятор. Отличительной особенностью спутникового телевизионного вещания (СТВ) является возможность для абонента принимать интересующую программу с любого спутника. При наземном телевидении зритель принимает программы с телецентра, находящегося в зоне радиовидимости, не превышающей, обычно, 100 км.

Рассмотрим преимущества спутникового телевидения:

- в первую очередь, это высококачественное изображение, без помех, благодаря используемой технологии сжатия передаваемого сигнала;
- возможность смотреть спутниковое телевидение в любом месте – в городе, на даче или в загородном коттедже;
- высокое качество звука;
- сотни интересных каналов, как платных, так и бесплатных;
- за спутниковое телевидение необходимо платить только раз – при установке и настройке оборудования. Это связано с тем, что очень многие каналы находятся в открытом вещании;

СТВ осуществляется двумя способами. Первый способ заключается в следующем: сигнал, принятый со спутника поступает на местный телецентр, который обеспечивает его дальнейшую ретрансляцию. В этом случае могут использоваться спутники с низкой мощностью передатчика и низкой точностью удержания КА на орбите. Такие ТВ сигналы, как правило, не принимаются на

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 17 |

индивидуальные приемные устройства из-за высокой стоимости и сложности приемной аппаратуры.

Второй способ заключается в следующем: прием сигнала спутникового телевидения осуществляется на отдельной приемной установке с небольшой антенной. Для обеспечения такого приема необходимо использовать спутник с относительно высокой мощностью передатчика и хорошей точностью удержания на орбите, чтобы исключить использование приемных устройств слежения. Этот тип вещания называется прямым телевизионным вещанием.

Рассмотрим простейшую схему (рисунок 4) индивидуальной приемной установки на стороне абонента.



Рисунок 4 – Упрощенная схема приемной установки спутникового телевидения

Устройство содержит параболическую приемную антенну диаметром 0,5 – 2,0 м, которая может устанавливаться на крыше, балконе, крепиться к стене здания. Передаваемый спутником-ретранслятором сигнал принимается антенной и поступает на поляризатор, который обеспечивает выделение сигнала в соответствии с его поляризацией (вертикальной, горизонтальной или круговой). Далее сигнал поступает в конвертор, обеспечивающий усиление и преобразование сигнала в первую промежуточную частоту 0,7 – 2,15 ГГц. Облучатель, поляризатор и конвертор вместе составляют наружный блок, называемой приемной головкой. Это устройство монтируется в герметичном корпусе для предотвращения попадания влаги.

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

БР-02069964-11.03.02-03-19

Лист

18

После первого преобразования принятый сигнал по коаксиальному кабелю поступает в ресивер (приемник), который обычно расположен рядом с телевизором. В нем происходит усиление сигнала, его второе преобразование, выбор нужного канала, демодуляция, разделение видео - и звукового сигналов и перенос их в диапазон частот одного из стандартных телевизионных каналов. Также отметим, что напряжение питания на приемную головку поступает по высокочастотному кабелю с ресивера [5].

2.2 Методы формирования и передачи спутниковых телевизионных сигналов

Аналоговый метод передачи с частотной модуляцией

Аналоговый телевизионный сигнал – это телевизионный сигнал, форма которого повторяет распределение яркости на пути развертки изображения.

Наземное телевизионное вещание осуществляется с использованием амплитудной модуляции (АМ) с частичным подавлением одной боковой полосы [5].

Частотная модуляция (ЧМ) требует по сравнению с АМ, используемый в наземном вещании, существенно меньшей мощности передатчика, что является важным для спутниковых систем. Однако в этом случае приходится занимать большую полосу частот. Преимуществами ЧМ являются также низкие требования к линейности амплитудной характеристики тракта и возможность работы выходного каскада спутникового передатчика в режиме насыщения, в котором достигается высокий КПД.

Телевизионный сигнал характеризует совокупность его параметров: число строк, число кадров, полярность сигнала, длительность и форма синхронизирующих импульсов, разнос между несущими частотами изображения и звукового сопровождения, метод кодирования сигналов цветности совместно с сигналом яркости. Совокупность значений этих параметров составляет стандарт телевизионного сигнала. Преимуществом

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 19 |

аналоговой передачи является более простое оборудование, особенно при передаче ТВ-сигналов.

Цифровой метод передачи сигналов

В последнее время преимущественное развитие получило использование в системах спутниковой связи цифровых методов передачи, обладающих следующими преимуществами перед аналоговыми методами:

- более высокой пропускной способностью ССС путем использования оптимальных методов модуляции и кодирования;
- возможностью более полного использования статистических характеристик передаваемого сообщения для повышения пропускной способности системы;
- более эффективной передачей дискретных сигналов.

Рассмотрим преимущества, появляющиеся при переходе к цифровой форме представления и передачи именно телевизионных сигналов. Во-первых, появляется возможность создания унифицированного видеоборудования, использующий стандарт цифрового кодирования. Все цифровые сигналы обрабатываются по единой технологии. Таким образом, повышается стабильность параметров оборудования, которое работает в бесподстроечном режиме. Тем самым происходит значительное повышение качества телевизионного изображения, особенно при цифровой видеозаписи с применением электронного монтажа. Во-вторых, внедрение единого стандарта цифровой видеозаписи значительно облегчает международный обмен телевизионными программами. Применение цифровых сигналов значительно расширяет номенклатуру спецэффектов. Это и селективная обработка участков кадра, и электронный монтаж из фрагментов нескольких кадров, замена объектов в кадре, геометрические преобразования изображений и тому подобное [5].

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 20 |

Цифроаналоговый метод передачи сигналов

В качестве компромисса между аналоговым и цифровым методом передачи телевизионного сигнала по спутниковым каналам стал цифроаналоговый стандарт MAC (Multiplexing Analogue Components – уплотнение аналоговых компонент). Данная система позволяет получить улучшенное изображение на экране телевизора. В зависимости от выбранного способа передачи звука и данных различают стандарты В-MAC, С-MAC, D-MAC, D2-MAC, E-MAK для телевидения повышенного качества (ТПК) и HD-MAC и HDB-MAC для телевидения высокой четкости (ТВЧ). Стандарт D2-MAC в настоящее время получил широкое распространение.

Этот стандарт обладает следующими улучшенными характеристиками, по сравнению с обычными аналоговыми системами:

- отсутствие перекрестных искажений сигналов яркости и цветности;
- значительно снижены шумы, в канале цветности, за счет перевода его в область более низких частот;
- сигналы звукового сопровождения, синхронизации, телетекста и другой служебной и дополнительной информации передаются в цифровой форме;
- повышение разрешающей способности изображения за счет более широкой полосы частот сигналов яркости и цветности.

D2-MAC можно разделить на две части: аналоговую и цифровую.

Аналоговые сигналы яркости и цветности передаются в течение активной части строки в сжатом во времени виде. Цифровая часть сигнала объединена в пакеты, передаваемые в течение обратного хода по строке и кадру. Цифровая часть соответствует звуку, телетексту, сигналам синхронизации другим данным.

Сжатие аналогового сигнала осуществляется путем стробирования с некоторой тактовой частотой (6,75 МГц для цветоразностных компонент и 13,5 МГц для яркостной составляющей). Полученные сигналы накапливаются

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 21 |

в запоминающем устройстве, после чего происходит их ускоренное считывание с более высокой тактовой частотой (20,25 МГц).

Применение такого способа кодирования позволяет сжать в два раза требуемую ширину полосы пропускания для данной скорости передачи данных, которая составляет 10,125 Мбит/с.

2.3 Основные стандарты вещания спутникового телевидения

Стандартом ТВ-сигнала является совокупность определяющих его основных характеристик, таких как число строк и кадров, разнос между несущими частотами изображения и звукового сопровождения и др. Для цветного телевидения добавляется метод передачи сигналов цветности совместно с сигналом яркости. В спутниковом вещании традиционно используются стандарты формирования ТВ-сигнала, сложившиеся в наземном телевизионном вещании. Для черно-белого телевидения существует 10 стандартов, которые принято обозначать латинскими буквами В, D, G, H, I, K, K1, L, M, N. По способу передачи сигналов цветности различают три системы цветного телевидения: SECAM, NTSC и PAL. Каждая из трех систем может применяться с любым из 10 стандартов черно-белого ТВ-вещания, давая 30 возможных комбинаций. На практике применяются девять разновидностей PAL, шесть – SECAM и один стандарт из группы NTSC. Системы SECAM, NTSC и PAL были разработаны для наземных ТВ-сетей, использующих амплитудную модуляцию несущей изображения. Эти системы не очень пригодны для спутниковых каналов, где основной является частотная модуляция (ЧМ) и могут возникать перекрестные искажения сигналов яркости и цветности, ухудшающие качество изображения [6].

Основным стандартом СТВ является стандарт DVB. DVB (англ. Digital Video Broadcasting – цифровое видео вещание) – семейство стандартов цифрового телевидения, разработанных международным консорциумом DVB Project.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 22 |

DVB Project (Digital Video Broadcasting Project – проект цифрового видеовещания) – это международная организация, которая занимается разработкой стандартов в области цифрового телевидения для Европы. Она создана в 1993 г. и ее членами в настоящее время являются более 300 компаний, производящих оборудование для телевизионного вещания, занимающихся телевизионным вещанием и связью, научно-исследовательских организаций и т.д. Штаб - квартира DVB Project находится в Женеве (Швейцария).

Система А (стандарт DVB-S) разработана европейским консорциумом DVB Project и предназначена для доставки служб многопрограммного телевизионного вещания или ТВЧ в частотных диапазонах фиксированной и радиовещательной SAT служб (10,7...12,75 ГГц) с их непосредственным приемом на домашние интегральные приемники-декодеры, а также на приемники, подключенные к системам с SAT коллективными ТВ антеннами SMATV (Satellite Master Antenna TV), и систем кабельного телевидения (СКТ) при первичном и вторичном распределениях программ телевизионного вещания. Здесь применены алгоритмы кодирования сигналов изображения и транспортного мультиплексирования в соответствии со способом международного кодирования с информационным сжатием MPEG-4 (Moving Picture Experts Group), прямая коррекция ошибок на базе кода Рида-Соломона, сверточный код, алгоритм декодирования Витерби с «мягким» решением, фильтры с характеристиками типа «приподнятый косинус», квадратурная фазовая модуляция QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) и построчное декодирование принимаемого сигнала.

В настоящее время преимущественно используется стандарт DVB-S2. Стандарт системы второго поколения для видеовещания, интерактивных услуг, сбора новостей и других широкополосных спутниковых (SAT) приложений является дополнением к широко используемому стандарту SAT-вещания DVB-S. Система DVB-S2 разрабатывалась в основном для:

– услуг телевизионного вещания стандартной четкости (SDTV) и телевизионного вещания высокой четкости (ТВЧ или HDTV);

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 23 |

- интерактивных услуг, включая доступ в интернет;
- профессиональных приложений.

Для всех этих приложений DVB-S2 использует последние достижения, как в кодировании, так и в модуляции сигнала, что позволяет увеличить пропускную способность порядка 30% и более в сравнении с DVB-S.

Ранее спутниковый ресивер принимал аналоговый сигнал со спутника, сейчас ресиверы принимают цифровые сигналы DVB-S/DVB-S2. Каждый ресивер имеет определенный функциональный ряд, одни могут принимать только открытые SD (Standard Definition) каналы, другие открытые SD и HD (High Definition) каналы. Некоторые спутниковые ресиверы предназначены для приема каналов определенного оператора, так как имеют встроенный картоприемник или модуль условного доступа определенной кодировки. Картоприемник позволит установить в него лицензионную карту оператора, модуль условного доступа по определенному номеру (ID) идентифицирует вас как клиента и даст доступ к оплаченным пакетам по данному ID.

2.4 Технология построения спутниковой связи VSAT

VSAT – технология спутниковой связи с использованием малых земных спутниковых станций связи. Спутниковая связь VSAT не имеет ограничений по привязке к местности и позволяет организовать телекоммуникационные каналы связи там, где построение других систем связи нерентабельно или невозможно: малозаселенные или незаселенные регионы, территории без наземной инфраструктуры, морские транспортные пути. Таким образом, установив VSAT, пользователь получает доступ ко всем телекоммуникационным услугам практически в любой точке планеты: телевидение, доступ в Интернет, IP-телефония с предоставлением номера или нескольких номеров, каналы для аудио и видеоконференций [7].

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 24 |

Принцип работы сетей VSAT: они строятся на базе спутников-ретрансляторов, которые находятся на геостационарной орбите (35786 км). Основными характеристиками спутника являются и количество бортовых передатчиков, их мощность и диапазоны радиочастотных каналов. Сигнал от VSAT - терминала поступает на спутник, который усиливает и отправляет его назад в центр управления (ЦУС), который является центральным узлом всей VSAT - сети. Обычно в состав ЦУС входит:

- 1) каналообразующее оборудование – спутниковая приемопередающая антенна диаметром 4,5 – 9 м с мощным приемопередатчиком до 400 Вт;
- 2) HUB-аппаратура для коммутации и обработки информации в сети VSAT.

Малая земная спутниковая станция (МЗСС) или абонентский VSAT-терминал включает в себя антенну диаметром 0,5-2,4 м, приемопередатчик мощностью 1 Вт и спутниковый модем, который обеспечивает сопряжение спутникового канала с оборудованием абонента. Организация спутниковой связи VSAT приведена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Организация спутниковой связи VSAT

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

Преимущества сети VSAT:

– Занимает небольшое время для установки и ввода в эксплуатацию. Установка имеет относительно низкие первоначальные инвестиции и эксплуатационные расходы.

– Масштабируемость и управление сетью. Сети VSAT являются масштабируемыми и гибкими. Если необходимо добавить в сеть новые терминалы или переместить существующий терминал, то это никак не сказывается на работе сети. Установка выполняется независимо от существующей сети, что уменьшает задержки и вероятность возникновения неполадок.

– Резервные каналы. Технология VSAT обеспечивает надежную архитектуру для построения резервных сетей. Если наземная сеть становится недееспособной по любой причине, резервные каналы мгновенно вводятся в эксплуатацию.

– Покрытие. В сетях VSAT можно использовать широкое спутниковое покрытие для снижения стоимости организации корпоративных сетей, в отличие от разработки комплексных решений. Внедрение надежной и достаточно доступной архитектуры позволяет организовать эффективный обмен информацией между удаленными филиалами.

– Безопасность. Системы VSAT достаточно надежны, так как этот тип технологии организуется как виртуальная сеть VPN (Virtual Private Network), которая обеспечивает безопасную связь.

Недостатки:

– Задержка сигнала. Космический сегмент VSAT состоит из геостационарных спутников. Этот тип передачи данных имеет минимальную задержку приблизительно 600 миллисекунд для приема в оба конца. Но современные технологии позволили преодолеть барьер скорости передачи сигнала, который был связан с этой задержкой. Применение различных аппаратных и программных средств в спутниковых сетях позволяет достигать все больших скоростей.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 26 |

– Условия окружающей среды. Погода и другие условия окружающей среды могут влиять на качество сигнала, так как радиосигнал чувствителен к плотным образованиям в атмосфере. Кроме того, для беспрепятственной установки связи антенны со спутником необходимо, чтобы в месте ее монтажа было четкое направление на спутник, при этом здания или высокие деревья, находящиеся между спутником и антенной, могут стать проблемой.

Станция спутниковой связи для доступа к сети актуальна для:

- загородных поселков, в которых сохраняется низкое качество Интернета либо вовсе отсутствует возможность для его подключения;
- корпоративных клиентов, которые заинтересованы объединить удаленные офисы и подразделения в единую сеть;
- частных пользователей, которых не устраивает доступ к сети через смартфон и иные подобные устройства;
- частных лиц и корпоративных клиентов, которые заинтересованы пользоваться всеми преимуществами недорогой спутниковой телефонии;
- лиц, желающих удаленно наблюдать за объектами;
- клиентов, желающих пользоваться видеоконференцсвязью и прочее.

2.5 Топологии построения сетей VSAT

Спутниковая сеть VSAT SCPC, топология POINT-TO-POINT (точка-точка)

Данная сеть характеризуется одним каналом на несущей частоте. Это самый простой вариант сети VSAT. Для передачи информации между двумя абонентскими терминалами (точками) через спутник выделяется два канала – туда и обратно, каждому из которых соответствует своя несущая частота. Эта технология называется SCPC (Single Channel Per Carrier) и позволяет всегда иметь готовый канал передачи с гарантированной скоростью. Схема организации по данной технологии представлена на рисунке 6.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 27 |

Однако при таком способе наблюдается неэффективное использование спутникового ресурса. Для организации данного спутникового канала потребуются значительные финансовые затраты, поэтому более выгодным может оказаться для использования трафика при решении специфических задач крупными организациями.

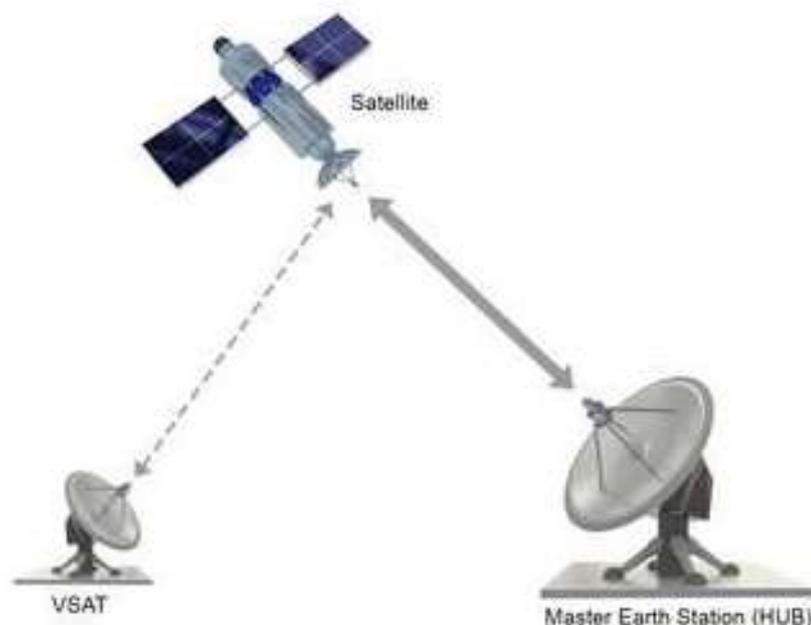


Рисунок 6 – Схема организации по топологии *POINT-TO-POINT*

Спутниковая сеть VSAT топологии STAR (звезда), технология MCPC (Multiple Channels per Carrier – несколько каналов на одну несущую) – усовершенствование SCPC

Спутниковую сеть с топологией «звезда» можно организовать на базе каналов «точка-точка» по технологии SCPC. Схема представлена на рисунке 7.

При такой организации сети используются несколько каналов на одной несущей частоте, с разделением потоков информации по времени. При таком подходе базовая станция транслирует весь поток, а абонентские станции выделяют из него предназначенную для них информацию по так называемым служебным заголовкам – меткам принадлежности трафика. То есть, спутниковый ресурс эффективно используется в направлении от центральной станции к базовым.

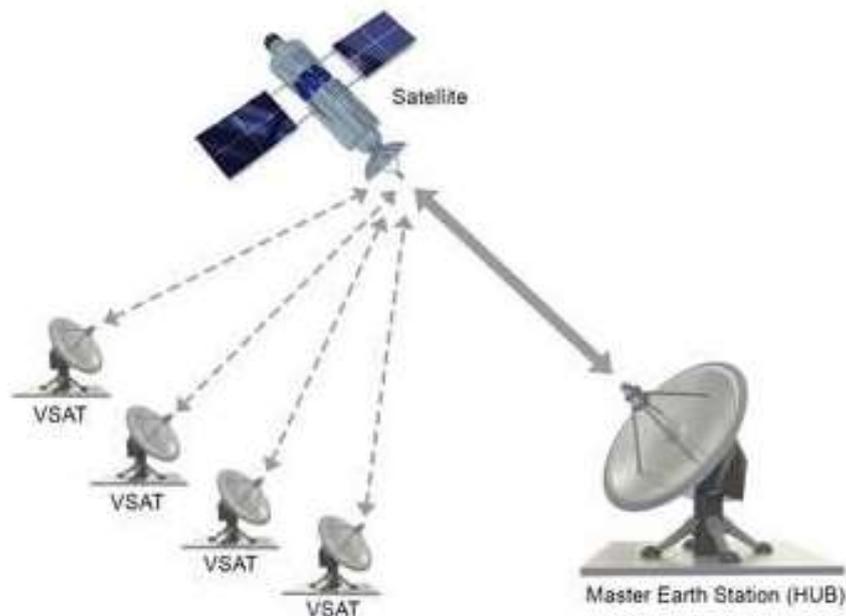


Рисунок 7 – Схема организации сети VSAT топологии STAR по технологии MCPC

Однако во встречном направлении сохраняется необходимость резервирования отдельной частотной полосы и наличия отдельного спутникового модема со всеми минусами неравномерной загрузки или простоя. Тем не менее, звездообразная сеть VSAT MCPC вполне приемлема для реализации проектов спутникового телевидения, и в подтверждение этому современный стандарт DVB-S2 является одним из вариантов MCPC [8].

Сети MCPC/SCPC можно использовать в случаях, когда небольшое количество периферийных станций потребляют немалый и пульсирующий трафик, а обратный трафик от этих станций невелик и более или менее стабилен.

Спутниковая сеть VSAT топологии STAR (звезда), технология TDM/ и TDM/MF- TDMA

В сети TDM/TDMA (Time Division Multiplexing – разделение по времени. Time Division Multiple Access – множественный доступ с разделением по времени) независимо от количества абонентских станций (терминалов) используются только две частоты: на передачу от центральной земной станции к абонентским

терминалам и на передачу от всех абонентских терминалов к центральной станции. Передача сигнала осуществляется так же, как и в сети MCPC/SCPC: данные для всех абонентов передаются на одной несущей, в едином цифровом потоке с разделением по времени. Поток делится на блоки, каждый из которых имеет персональный заголовок. На приеме две абонентские станции не могут работать на передачу на одной частоте одновременно – такой сигнал невозможно принять и декодировать. Поэтому абонентские терминалы передают информацию по очереди, не постоянно, а отдельными пачками, «вспышками». Такой режим передачи называется burst-mode (от слова burst – вспышка). Чтобы «вспышки» разных терминалов не совпали по времени, каждый из абонентских терминалов передает не когда попало, а только в назначенные ему «персональные» промежутки времени – тайм-слоты. Поскольку абонентские терминалы в сети TDM/TDMA «не видят» друг друга, организацией их передач занимается центральная станция [9]. Схема организации по данной технологии представлена на рисунке 8.

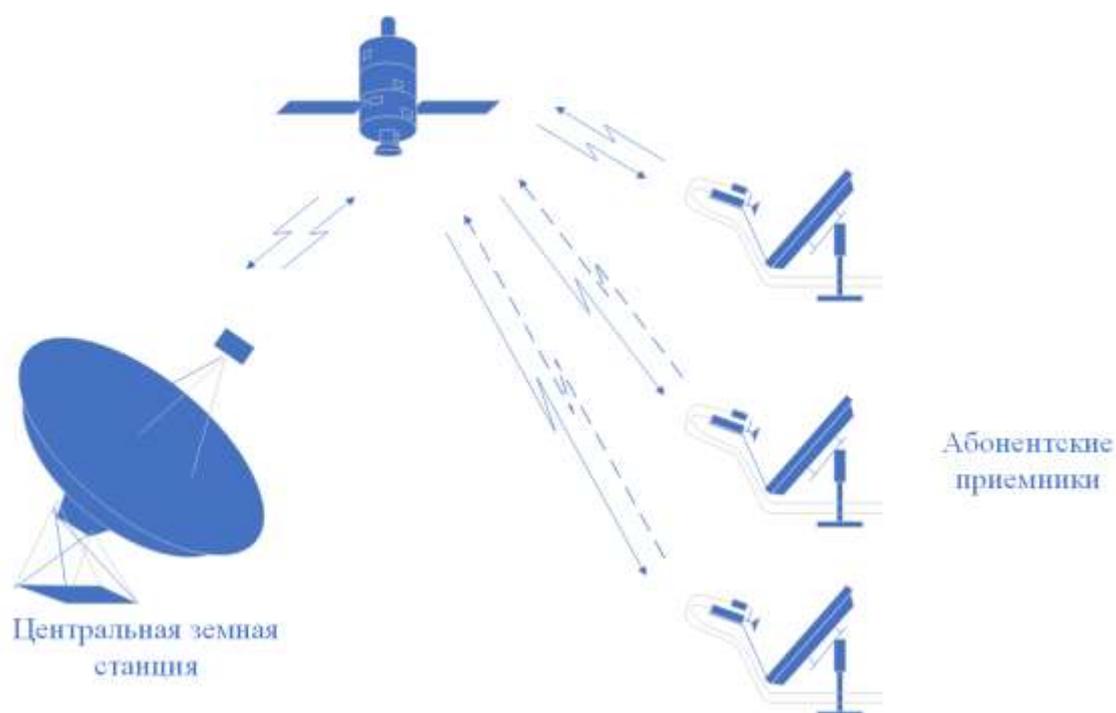


Рисунок 8 – Схема организации сети TDM/TDMA

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

БР-02069964-11.03.02-03-19

Лист

30

Преимущества сетей TDM/TDMA:

- на периферии можно использовать небольшие, сравнительно маломощные и относительно простые (а значит – дешевые) абонентские терминалы, за счет высокоинтеллектуальной центральной станции с мощной энергетикой;
- каждому абоненту не нужно получать отдельное частотное присвоение и арендовать отдельную полосу на спутнике;
- система позволяет абонентам с одним и тем же оборудованием получить каналы с разными скоростями и с разным качеством: с фиксированной скоростью (выделенный канал), с гарантированной ненулевой минимальной скоростью или без гарантированной скорости.

Рассмотрим недостатки сетей TDM/TDMA.

Во-первых, для работы сети TDM/TDMA необходима центральная станция с антенной 7-12 метров, мощный передатчик и надежный высокопроизводительный управляющий компьютер. Сети TDM/TDMA эффективны лишь при количестве абонентских станций от нескольких десятков до тысяч, так как стоимость велика. В системе можно организовать канал с гарантированной скоростью, однако степень готовности его ниже, чем в SCPC – потребность на передачу нельзя реализовать немедленно.

Во-вторых, повышенные требования к энергетике абонентских станций. Если терминал работает в burst mode, во время «вспышки» он должен передавать со скоростью в несколько раз большей, чем, если бы он передавал постоянно. Во столько же раз возрастают требования к размеру антенны и мощности передатчика.

В целях устранения этих недостатков была создана технология TDM/MF-TDMA - Multi-Frequency TDMA, многочастотный поочередный доступ.

Данное решение позволяет разделить полосу абонентских станций на узкие каналы, по которым они могут работать одновременно. Таким образом, снижаются требования по мощности, но возрастают по интеллекту, поскольку

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 31 |

теперь абонентским станциям приходится работать в более узких полосах, переходя с одной на другую по мере необходимости.

Современные сети VSAT – это звездообразные сети VSAT TDM/MF-TDMA, использующие кадры таймслотов, различные виды модуляций, помехозащищенное кодирование информации, пришедшее из стандарта спутникового телевидения DVB сжатия MPEG-2/4.

Все эти технологические преимущества позволяют получить высочайшую помехозащищенность кодированного сигнала, а это, в свою очередь, позволяет снизить требования к точности оборудования. Однако, защищенность кода предполагает большое количество контрольных битов, что приводит к избыточности информации, загружая полосу еще почти на двадцать процентов.

Но даже у такой совершенной схемы как сеть VSAT TDM/MF-TDMA есть слабые места, а именно невозможность связи между абонентскими станциями напрямую, минуя центральную. Прохождение сигнала через спутник приводит, во-первых, к задержкам, во-вторых, к оплате двойного трафика, которого могло бы и не быть, если отправлять сигнал напрямую.

Полносвязные сети VSAT, технологии MESH и HYBRID

В этой конфигурации реализуется связь между абонентскими станциями как напрямую, минуя центр, так и классическим образом. Выигрывая во времени и исключая двойной трафик, такая сеть проигрывает по сложности и размерам абонентского оборудования.

Каждый абонентский терминал должен не только работать на передачу, но и на прием кадров других абонентских станций. Это означает увеличение его интеллектуальных способностей, мощности передатчиков и размеров антенного полотна (порой до 240 см). Схема организации сети представлена на рисунке 9.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 32 |

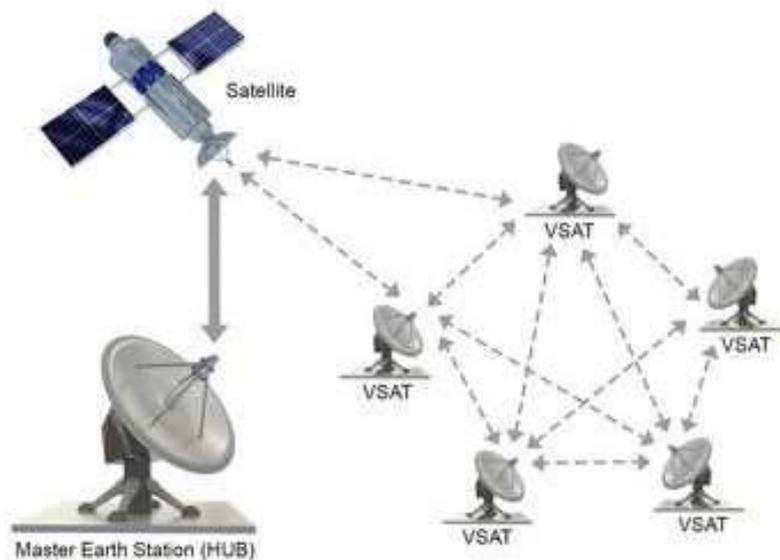


Рисунок 9 – Схема организации сети по технологии MESH

2.6 Оборудование для приема телевизионного сигнала

Прием спутникового телевидения может быть индивидуальный и коллективный. Индивидуальный прием осуществляется абонентом на одно приемное устройство. В этом случае используется одна или несколько приемных антенн, которые объединены между собой для приема на один ресивер. При коллективном приеме с одной или нескольких антенн прием осуществляют два или большее количество абонентов.

В оборудование для индивидуального приема входят:

- 1) одна или несколько спутниковых тарелок (по количеству принимаемых спутников);
- 2) спутниковые конверторы (число их точно соответствует количеству принимаемых спутников);
- 3) спутниковые ресиверы (в виде блоков, плат, встроенных в телевизор).

При использовании мультифидов на одну спутниковую тарелку можно принять несколько спутников, для переключения между спутниками служат DiseqC переключатели.

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

Для приема на одну антенну сигналов с нескольких спутников можно использовать управляемое с ресивера поворотное устройство. Для коллективного приема применяются спутниковые ответвители, сплиттеры, усилители и мультисвитчинги. Количество подключаемых абонентов варьируется от нескольких единиц до нескольких сотен [10].

Антенна

Спутниковая антенна служит для приема сигналов со спутника. Отраженный от поверхности антенны спутниковый сигнал фокусируется на облучателе конвертора, где преобразуется в первую промежуточную частоту. Самыми распространенными спутниковыми антеннами являются параболические антенны. Существуют три вида таких антенн: прямофокусная, офсетная и тороидальная.

Прямофокусная (осесимметричная) антенна представляет собой антенну классического типа параболоида вращения. Это способствует более точной установки на выбранный спутник. Как правило, такие антенны используют для приема сигнала в С-диапазоне, так как он слабее, чем сигнал в Ku-диапазоне. Также возможен прием сигнала и в Ku-диапазоне, а также в комбинированном диапазоне [14]. Вид данной антенны представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Прямофокусная антенна

Рассмотрим основные достоинства и недостатки этого типа антенн. Преимущества включают в себя простой производственный процесс и низкую цену.

Недостатки:

– невозможно установить на стенах домов без длинного удаленного крепления (для обеспечения желаемого угла подъема), иначе край зеркала антенны просто упирается в стену;;

– комплексная настройка и установка;

– конвертор устанавливается на пути прохождения сигнала от спутника, тем самым затеняя часть отражателя, и это уменьшает общий коэффициент усиления принимаемого сигнала;

– атмосферные осадки накапливаются в антенне: дождевая вода и снег.

В основном, антенна с прямым фокусом используется для профессионального приема сигналов со спутника с размерами отражателя более 1,5 ... 2,0 метра [11].

Офсетная антенна - самая распространенная для приема спутникового телевидения и радио. Офсетная антенна представляет собой эллиптический параболоид. Фокус этого сегмента расположен ниже геометрического центра антенны, что исключает затенение полезного участка антенны с помощью облучателя и его опор. В свою очередь, это повышает его эффективность при той же площади зеркала с осесимметричной антенной. К тому же, облучатель установлен ниже центра тяжести антенны, что увеличивает ее устойчивость при ветровых нагрузках. Офсетная антенна крепится почти вертикально. В зависимости от географической широты угол ее наклона незначительно меняется. Такое положение исключает собирание в чаше антенны атмосферных осадков, сильно влияющих на качество приема. Как правило, офсетные антенны используются для приема сигнала Ku-диапазона (при использовании линейной и круговой поляризации). Однако, возможен и прием сигнала в C-диапазоне, а

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

также в комбинированном диапазоне. На рисунке 11 представлена антенна данного типа.



Рисунок 11 – Офсетная антенна

У офсетной спутниковой антенны, фокус отражаемого от рефлектора сигнала смещен в сторону. Это существенно и положительно влияет на беспрепятственное его прохождение на облучатель конвертера. А у прямофокусной антенны, прохождению сигнала препятствуют, как ее стойки держащие конвертер, так и он сам. При различных климатических условиях, будь то дождь или снег, существенное преимущество будет у офсетной спутниковой антенны. Это объясняется положением самого рефлектора [12].

Параболические зеркальные антенны бывают не только с одним рефлектором, но и с двумя рефлекторами: благодаря второму рефлектору отражающая поверхность антенны увеличивается, тем самым усиливая сигнал. Параболические зеркальные антенны с двумя рефлекторами ещё называют тороидальными.

Тороидальная спутниковая антенна, помимо двух рефлекторов, может оснащаться несколькими конверторами. Благодаря такой технологии производства тороидальная спутниковая антенна способна принимать сигналы от

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| | | | | | | 36 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

нескольких спутников одновременно, при этом каждый конвертер будет находиться непосредственно в фокусе спутника, на который он направлен – это большой плюс, так как не нужно устанавливать поворотные устройства для приема сигнала со спутника.

Внешнее основное зеркало тороидальной антенны отличается от обычной офсетной параболической антенны, так как представляет собой, скорее всего не овал, а яйцеподобную форму. За счет такого сложного профиля и отражения от вспомогательного зеркала в пространстве формируется не отдельный точечный фокус, а протяжённая кривая, то есть фокус любой видимой точки геостационарной орбиты [13]. Антенна такого типа изображена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Тороидальная спутниковая антенна

Тороидальная спутниковая антенна очень сложна в изготовлении и настройке. Монтаж спутниковой антенны требует определенных навыков: точного выбора азимута, места установки, угла наклона.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 37 |

Конвертор

Как уже говорилось ранее, сигнал со спутника фокусируется параболической антенной в одной точке. Именно в эту точку и помещается конвертор при помощи специального крепления.

Конвертор (иными словами LNB, от «Low Noise Block» — малошумящий блок) предназначен для приема высокочастотного сигнала со спутника. Конвертор преобразует сигнал в менее высокочастотный и усиливает для последующей передачи по коаксиальному кабелю к ресиверу. Коэффициент собственных шумов – одна из основных характеристик конвертора. Чем ниже шумы, тем качественней конвертор. Типовое значение этого параметра, который указывают производители конверторов, составляет 0,1 – 0,3 Дб. Конструктивно конверторы различаются для разных диапазонов (С и Ku), а также в зависимости от поляризации (линейная и круговая). На рисунке 13 изображен универсальный конвертор Ku-диапазона.



Рисунок 13 – Универсальный конвертор Ku-диапазона

Универсальные конверторы Ku - диапазона обладают двухчастотным гетеродином. Применение подобного гетеродина обуславливается тем, что Ku - диапазон довольно широкий, согласно этому Ku - диапазон подразделяется на два поддиапазона: нижний 10700 – 11800 МГц и верхний 11800 – 12750 МГц.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 38 |

Переключение между диапазонами осуществляется сигналом, передаваемым по кабелю со спутникового приемника (ресивера) [14]. с ресивера также происходит управление переключением поляризации конвертера. Простейшая схема универсального конвертера представлена на рисунке 14.

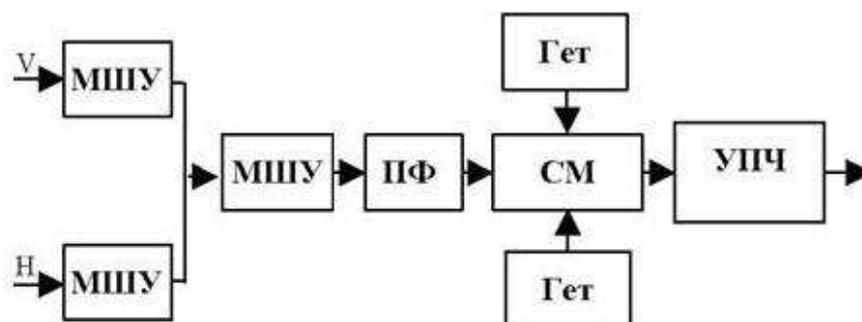


Рисунок 14 – Простейшая схема универсального конвертера

Рассмотрим составляющие элементы универсального конвертера, изображенного на рисунке (14).

МШУ – малошумящий усилитель. Так как мощность сигнала, попадающий на вход спутникового конвертера мала, усилитель в конвертере должен быть с низким уровнем собственных шумов. Перед преобразованием сигнала его мощность необходимо усилить, что и происходит в МШУ. При выборе спутникового конвертера коэффициент шума является одним из его важнейших характеристик.

ПФ – полосовой фильтр. Он выделяет из всего частотного спектра, только полосу занимаемого спектра. Все шумы и ненужные сигналы на других частотах убираются.

СМ – смеситель. В смесителе происходит понижение частоты (частота гетеродина вычитается из частоты принимаемого сигнала).

УПЧ – усилитель промежуточной частоты. Здесь сигнал усиливается. Это нужно для дальнейшей передачи сигнала к ресиверу.

Ресивер

Телевизионный спутниковый ресивер (его часто называют тюнер или спутниковый приемник) – это приемник, который выделяет необходимый спутниковый канал и передает его на телевизор. Спутниковые ресиверы используют для того, чтобы подключить спутниковую антенну к телевизору. Именно спутниковый ресивер преобразовывает сигнал со спутника в сигнал, понятный для телевизора.

Функциональная схема приставки-декодера для приема цифрового ТВ приведена на рисунке 15.



Рисунок 15 – Функциональна схема абонентской приставки

Абонентская приставка состоит из селектора каналов (тюнера), аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), блока цифровой обработки сигналов (ЦОС), куда входят блоки демодуляции, депережежения, декодирования и демультимплексирования потока, а также декодер видео и звука по стандарту MPEG. После блока ЦОС выполняется кодирование в системе PAL компонентного сигнала, на его выходе получают композитный аналоговый видеосигнал и выводят на разъем SCART или RCA.

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

БР-02069964-11.03.02-03-19

Лист

40

3 Постановка задачи

3.1 Физико-географическое положение абонентского приемника

Приемный абонентский модуль расположен в селе Новая Авгура Краснослободского района республики Мордовия. Местоположение определим на карте и представим на рисунке 16.

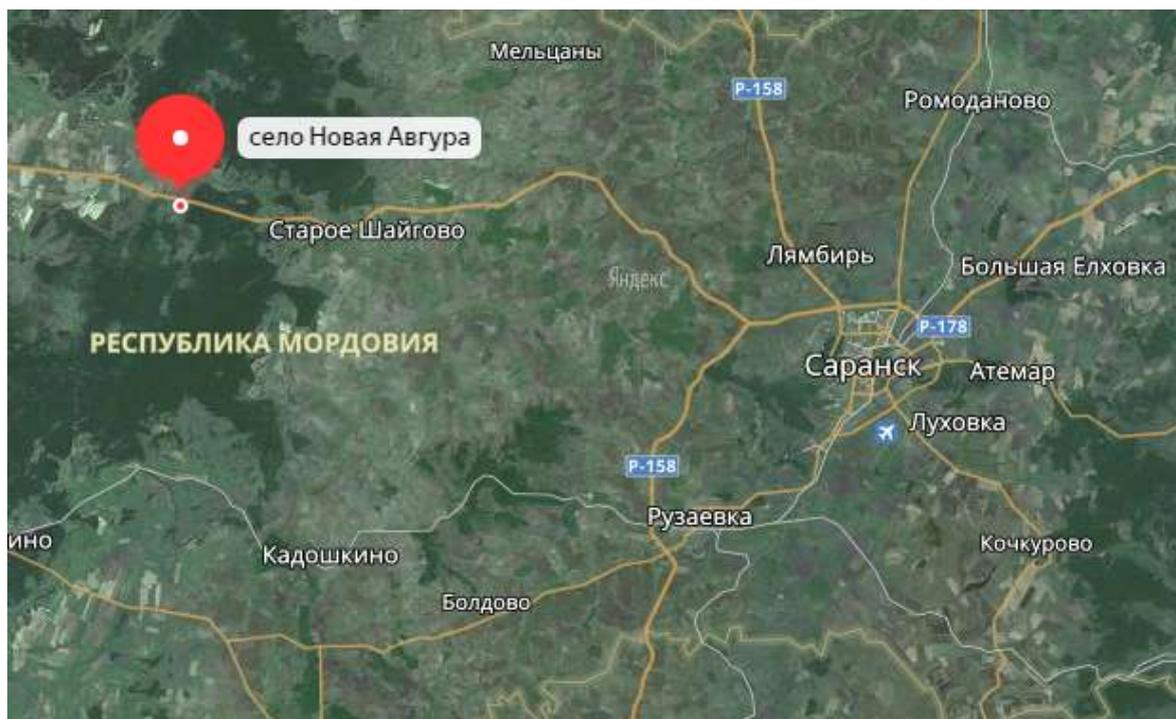


Рисунок 16 – Местоположение наземного модуля

Определим географические координаты:

- широта – $54^{\circ}19'49''$ северной широты, 54,33027 в десятичных градусах;
- долгота – $44^{\circ}11'57''$ восточной долготы, 44,19925 в десятичных градусах.

Отметим, что в данной области уже существуют виды услуг как мобильная связь, цифровое эфирное наземное телевидение. Но, к сожалению, мощность принимаемого сигнала не позволяет получить на экране телевизора высококачественное изображение без искажений, а также обеспечить качественный звук. Это связано с тем, что вышки находятся на значительном

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

БР-02069964-11.03.02-03-19

Лист

41

расстоянии от села. К тому же, в данном населенном пункте нет провайдеров, поставляющих интернет соединение по DSL - линии. Следовательно, неплохим решением для предоставления цифрового телевидения в данный район будет использование спутниковой связи.

3.2 Обзор существующих операторов спутникового ТВ

Рассмотрим наиболее распространенных провайдеров, которые поставляют спутниковое телевидение в России.

«НТВ Плюс»

Один из первых спутниковых операторов на Российском рынке, который является признанным экспертом в области платного спутникового телевидения.

Телекомпания, использует спутники Eutelsat 36A/36B(W4/W7) и "Экспресс-АТ1", вещает на большей части территории России и Украины. Сегодня зрителями телекомпании являются более 2 миллионов человек, а количество сотрудников НТВ-ПЛЮС превышает 1000 человек.

На данный момент количество вещаемых каналов превышает 200, включая более 40 каналов высокой четкости (HDTV) [15].

Преимущества «НТВ Плюс»:

- много доступных каналов, в том числе каналы формата 3D и HD;
- демократичная ценовая политика;
- качественное оборудование;
- круглосуточная поддержка пользователей;
- уверенный прием сигнала, в связи с этим высокое качество изображения и звука;
- большая зона покрытия;
- быстрая настройка оборудования;
- различные способы оплаты.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 42 |

Недостатки:

- привязка к определенной модели ресивера;
- иногда ухудшается качество вещания, вследствие неблагоприятных погодных условий (град, снег);
- высокая стоимость дополнительных пакетов.

«Триколор ТВ»

Крупнейший российский оператор цифрового телевидения с абонентской базой, составляющей более 12 миллионов российских семей. Проект спутникового вещания пакета российских телевизионных каналов под брендом «Триколор» принадлежит ЗАО "Национальная Спутниковая Компания".

Вещание осуществляется через спутник Eutelsat W4 в позиции 36 градусов восточной долготы на всю территорию Европейской части России. Емкость арендована на весь период существования спутника. В соответствии с действующим законодательством об авторских и смежных правах пакет защищен от несанкционированного просмотра специальной системой условного доступа. В дальнейшем предполагается увеличение количества принимаемых программ и введение в состав пакета новых сервисов, таких как электронный программный гид (EPG) и другие.

Сегодня Триколор ТВ является самым известным и массовым оператором спутникового телевидения в России. И обусловлено это, прежде всего, отсутствием платы на основные каналы (11 федеральных) и низкой ценой платного пакета. А Триколор HD – это новый пакет телеканалов высочайшей четкости от этого же оператора.

На данный момент абонентам доступно 20 каналов, вещающих в качестве HD (1920x1080 пикселей), а также дается возможность просмотра остальных из таких пакетов, как «Оптимум» и «Супер-Оптимум».

Основные преимущества:

- более 180 каналов в стандартном пакете;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 43 |

- приемлемая для большинства абонентов стоимость каждого пакета;
- возможность одновременного просмотра разных каналов на двух телевизорах;
- многофункциональные ресиверы;
- возможность подключения к радиостанциям.

К недостаткам можно отнести высокую стоимость аппаратуры.

Комплект аппаратуры для подключения к данному оператору может показаться дорогим в цене и громоздким по объему и весу. Он может включать в себя не только спутниковую тарелку, но и 2 ресивера, которые передают сигнал по кабелю, подключенному к порту Ethernet. Эта пара приборов дает возможность смотреть разные каналы на двух телевизорах.

Программное обеспечение ресиверов постоянно совершенствуется. В 2015 году устройства получили функцию отложенного просмотра и записи эфира. Также эти модели имеют множество мультимедийных приложений. Кроме этого, в качестве пульта управления можно использовать не только штатный прибор, но и смартфон или планшет.

Оператор МТС

Вещание спутникового телевидения от МТС ведется с космического аппарата ABS-2. Точка стояния спутника ABS-2 расположена над центром Евразии, а значит, спутниковое телевидение от МТС имеет важное преимущество с точки зрения покрытия, охватывающего мощным сигналом 95% населенной территории России – от Калининграда до Владивостока.

Сигнал этого оператора можно принимать в любом регионе, но приобрести аппаратуру можно не везде. Комплект оборудования от МТС включает в себя фирменную приставку с большим количеством разъемов. Данные от абонента оператор получает при помощи установленной внутри устройства сим-карты. Функционал прибора включает в себя опции отложенного просмотра, заявки и

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 44 |

запуска нужного контента, записанного на носитель . В платный пакет входит 130 каналов, 25 из которых – в HD.

Преимущества:

- 1) низкая стоимость всех пакетов – и стандартного, и дополнительных;
- 2) много доступных каналов;
- 3) широкие функциональные возможности ресивера;
- 4) возможность производить оплату с номера мобильного телефона.

Вместо ресивера может использоваться САМ-модуль. Такая альтернатива стандартному комплекту актуальна для клиента, у которого есть современный телевизор с подходящим слотом и поддержкой DVB-S.

Для сравнения рассмотрим несколько комплектов спутникового телевидения приведенных операторов.

- 1) Комплект НТВ плюс HD с Orentech OHS 1740V HDTV.

В комплект входит:

- спутниковый ресивер Orentech OHS 1740V;
- антенна: 0,6 м.;
- конвертор: Circular Single LNB с круговой поляризацией;
- ТВ кабель RG-6 (10 метров);
- F-разъёмы - 2 шт.;
- смарт-карта и договор абонента "НТВ-Плюс [16].

- 2) Спутниковый комплект «Триколор» GS E212 .

В комплект входит:

- антенна: Супрал 0,55 м.;
- конвертор: LNB Circular Single;
- ресивер: GS E212;
- смарт-карта и договор.

- 3) Спутниковый комплект «МТС ТВ».

В комплект входят:

- спутниковый ресивер Castpal DS701;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 45 |

- антенна 0,6 м.;
- конвертор Universal Single LNB;
- ТВ кабель RG-6 (14 метров);
- F-разъёмы – 2 шт.;
- смарт-карта МТС ТВ [16].

Сравнение характеристик представим в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение характеристик комплектов спутникового телевидения

| Характеристики | НТВ+ | Триколор | МТС |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Диаметр антенны, м | 0,6 | 0,55 | 0,6 |
| Коэффициент усиления антенны, дБ | 35,9 | 35,9 | 35,9 |
| Шумовая температура антенны, К | 90 | 45 | 90 |
| Коэффициент усиления конвертора, дБ | 55-60 | 56-60 | 70 |
| Коэффициент шума конвертора, дБ | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Уровень входного сигнала, дБм | -65...-25 | -65...-25 | -65...-25 |
| Цена, руб | 5200 – 8900 | 5560 – 6590 | 3550 – 3990 |

3.3 Спутниковая группировка

В целях решения поставленной задачи был выбран инновационный спутник нового поколения Intelsat 33e. Данный спутник относится к международному спутниковому оператору Intelsat.

Intelsat 33e – это трехосный космический аппарат стабилизированного типа с прямоугольным внешним корпусом. Спутник обеспечивает высокую

производительность с самым гибким дизайном спутниковой архитектуры. На его борту находятся транспондеры С-, Ка- и Ku-диапазонов. Орбитальная позиция – 60° в.д. Intelsat 33e был построен концерном Boeing и запущен на орбиту 24 августа 2016 года.

Наряду с традиционным широким лучом спутник снабжен многолучевой антенной Ku-диапазона, обеспечивающей мощность ЭИИМ до 60 дБВт.

На новом спутнике установлена уникальная цифровая матрица, которая позволяет динамически коммутировать несущие сигналы между многочисленными лучами в очень широкой зоне обслуживания.

Благодаря открытой и гибкой архитектуре спутник обеспечивает совместимость с существующими сетями, а также открывает уникальные возможности для внедрения и развития новых конкурентных услуг. Территорию России охватывают 10 лучей Ku-диапазона спутника Intelsat 33e, на базе которых сформирован целый пакет инновационных продуктов нового класса: высокопроизводительных VSAT-сетей с легко расширяемой географией, с возможностью передачи HD-контента с ультра-компактной станции, магистральных каналов высокой пропускной способности, сетей распределения регионального телевидения с характеристиками DTH-вещания.

Технические характеристики спутника Intelsat 33e:

- 1) платформа: Boeing 702MP;
- 2) точность удержания станции: $\pm 0,05^\circ$;
- 3) активное время существования: 15 лет;
- 4) стабилизация: трехосная;
- 5) мощность, потребляемая полезной нагрузкой: 13 кВт;
- 6) масса спутника: 6575 кг;
- 7) Ku-диапазон, линейный: 268x36 транспондеров;
- 8) С-диапазон, линейный: 79x36 транспондеров.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 47 |

Карта покрытия

Мощные, сфокусированные лучи Ku-диапазона обеспечивают широкополосные услуги для России, Европы, Африки, Ближнего Востока и Азии [17]. Карта покрытия спутника Intelsat 33e приведена на рисунке 17.

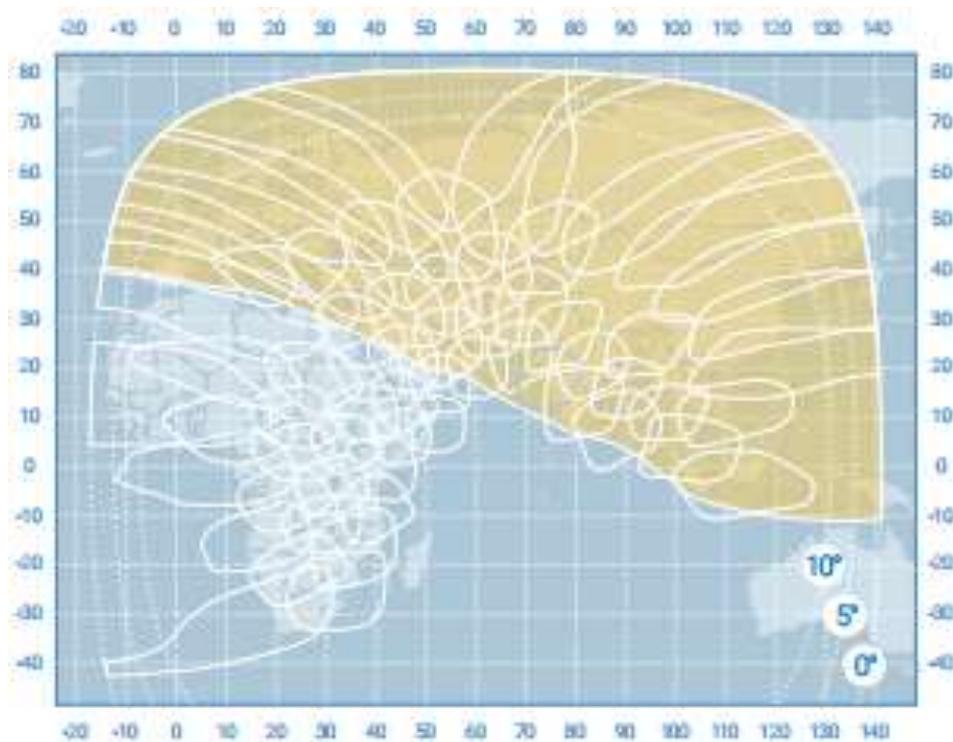


Рисунок 17 – Карта покрытия спутника Intelsat 33e

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

БР-02069964-11.03.02-03-19

Лист

48

4 Разработка приемного модуля

4.1 Расчет геометрических соотношений

Для решения ряда задач, которые возникают при проектировании спутниковой линии связи, необходимо знать геометрические соотношения, которые определяют взаимное расположение земной станции и спутника. Так, для правильной ориентации антенны ЗС необходимо знать ее угол места β и азимут α (см гл. 1, рисунок 3).

Азимут представляет собой угол, отсчитываемый в горизонтальной плоскости по часовой стрелке от направления на Северный полюс до направления от земной станции на спутник.

Угол места – это угол, отсчитываемый в вертикальной плоскости от касательной к горизонту до направления от земной станции на космический аппарат.

Наклонная дальность – это расстояние от земной станции до космического аппарата.

Наклонную дальность определим по следующей формуле:

$$d = R_3 \frac{\sqrt{1 + \gamma_0^2 - 2 \cdot \gamma_0 \cdot \cos \psi}}{\gamma_0}, \quad (4)$$

где $R_3 = 6378$ км – радиус Земли;

γ_0 и $\cos \psi$ – промежуточные коэффициенты.

Промежуточный коэффициент найдем по следующей формуле:

$$\gamma_0 = \frac{R_3}{R_3 + H}, \quad (5)$$

где H – высота геостационарной орбиты.

Используя формулу (2) при $H = 35786$ км получим:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 49 |

$$\gamma_0 = \frac{6378}{6378 + 35786} = 0,1513.$$

Промежуточный коэффициент:

$$\cos\psi = \cos\varphi_{ЗС} \cdot \cos\Delta\lambda, \quad (6)$$

где $\varphi_{ЗС}$ – широта земной станции;

$\Delta\lambda$ – промежуточный коэффициент.

Промежуточный коэффициент $\Delta\lambda$ вычисляем по формуле:

$$\Delta\lambda = \lambda_{ЗС} - \lambda_{СП} = 44,199259 - 60 = -15,80074,$$

где $\lambda_{ЗС}$ – долгота земной станции;

$\lambda_{СП}$ – долгота подспутниковой точки.

Значение угла места найдем по следующей формуле:

$$\beta = \arctg\left(\frac{\cos\psi - \gamma_0}{\sqrt{1 - \cos^2\psi}}\right). \quad (7)$$

Значение азимута вычислим по формуле:

$$\alpha = 180^\circ + \arctg\left(\frac{\text{tg}\Delta\lambda}{\sin\varphi_{ЗС}}\right). \quad (8)$$

Параметры азимут и угол места являются основными величинами, которые используются при настройке параболической антенны на спутник. Параметры наклонная дальность и угол места необходимы для инженерных расчетов,

предшествующих практическим вопросам монтажа и имеют своей целью выбор оптимальных параметров приёмной наземной спутниковой станции.

Выполним геометрические расчеты для ЗС.

Для точки стояния 60° по формуле (3) вычислим:

$$\cos\psi = \cos\varphi_{ЗС} \cdot \cos\Delta\lambda = \cos 54,33^\circ \cdot \cos(-15,8007^\circ) = 0,583 \cdot 0,717 = 0,418.$$

Зная промежуточные коэффициенты, рассчитаем значение азимута:

$$\begin{aligned}\alpha &= 180^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{(\operatorname{tg}\Delta\lambda)}{\sin\varphi_{ЗС}}\right) = 180^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{(\operatorname{tg}(-15,800741^\circ))}{\sin(54,33027^\circ)}\right) = \\ &= 180^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{-0,283}{0,812}\right) = 178,43^\circ.\end{aligned}$$

Значение угла места находится по формуле:

$$\begin{aligned}\beta &= \operatorname{arctg}\left(\frac{\cos\psi - \gamma_0}{\sqrt{1 - \cos^2\psi}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,418 - 0,151}{\sqrt{1 - 0,418^2}}\right) = 1,5707 \text{ рад} = \\ &= 16,38146^\circ.\end{aligned}$$

Используя формулу (4), рассчитаем наклонную дальность:

$$d = R_3 \frac{\sqrt{1 + 0,151^2 - 2 \cdot 0,151 \cdot 0,418}}{0,151} = 39920,40516 \text{ км.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 51 |

4.2 Расчет потерь энергии сигнала при распространении по спутниковой линии

Одной из главных особенностей спутниковых линий связи является наличие больших потерь сигнала, обусловленных затуханием (ослаблением рассеянием и ослаблением) его энергии на трассах большой физической протяженности. Например, при высоте орбиты КА 36 тыс. км затухание сигнала на трассе может достигать 200 дБ. Помимо этого основного затухания в пространстве сигнал в линиях спутниковой связи подвержен влиянию большого числа других факторов, таких как поглощение в атмосфере, фарадеевское вращение плоскости поляризации, рефракция, деполяризация и т. д. С другой стороны, на приемное устройство КА и ЗС кроме собственных флуктуационных шумов воздействуют разного рода помехи в виде излучения Солнца, космоса и планет.

В этих условиях правильный и точный учет влияния всех факторов позволяет осуществить оптимальное проектирование ССС, обеспечить ее нормальную работу и в то же время исключить излишние энергетические запасы, приводящие к неоправданному увеличению сложности земной и бортовой аппаратуры.

В общем случае дополнительные потери в реальных условиях вычисляют по следующей формуле:

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{атм}} + L_{\text{д}} + L_{\text{н}} + L_{\text{п}}, \quad (9)$$

где $L_{\text{атм}}$ – потери в спокойной атмосфере;

$L_{\text{д}}$ – потери в осадках;

$L_{\text{н}}$ – потери из-за неточности наведения антенн, примем равным 1дБ;

$L_{\text{п}}$ – поляризационные потери, примем равным 1дБ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 52 |

Потери в свободном пространстве

Важным фактором, влияющим на уровень сигнала на входе приемника, являются потери энергии при распространении сигнала по спутниковой радиолинии.

Затухание энергии сигнала в свободном пространстве, вызванное уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя, определяем по следующей формуле:

$$L_{\text{св}} = 20\lg\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda}\right) = 20\lg\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 39920405,16}{0,025641}\right) = 205,8454 \text{ дБ}, \quad (10)$$

где d – наклонная дальность, в метрах;

λ – длина волны.

Длину волны определим по формуле:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{11,7 \cdot 10^9} = 0,02564 \text{ м}, \quad (11)$$

где c – скорость света;

f – рабочая частота.

Потери энергии сигнала в атмосфере

Поглощение радиоволн в атмосфере количественно определяется коэффициентом L_a . Установлено, что в диапазонах частот выше 500 МГц основное поглощение определяется тропосферой, а именно, газами тропосферы: кислородом и водяными парами, а также дождем и прочими гидрометеорами. При этом ионосфера и остальные газы тропосферы, например двуокись углерода или азот, играют незначительную роль.

Поглощение радиоволн в атмосфере определим по формуле:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 53 |

$$L_{\text{атм}} = L_{\text{O}} \cdot l_1 + L_{\text{H}_2\text{O}} \cdot l_2, \quad (12)$$

где L_{O} и $L_{\text{H}_2\text{O}}$ - коэффициенты погонного поглощения (дБ/км) в кислороде и водяных парах;

l_1 и l_2 — эквивалентная длина пути сигнала в этих средах соответственно.

Поглощение имеет ярко выраженный частотно-зависимый характер; наблюдаются резонансные пики на частотах 22 и 165 ГГц (для водяных паров), а также 60 и 120 ГГц (для кислорода).

Эквивалентная длина пути сигнала в стандартной атмосфере (км) зависит не только от эквивалентной толщины атмосферы, но и от угла места земной антенны β и высоты земной станции над уровнем моря h_3 :

$$l_{\text{O}} = \left(\frac{(h_{\text{O}} - h_3)}{\sin \beta} \right); \quad (13)$$

$$l_{\text{H}_2\text{O}} = \left(\frac{(h_{\text{H}_2\text{O}} - h_3)}{\sin \beta} \right), \quad (14)$$

где $h_{\text{O}} = 6$ км – эквивалентная толщина слоя кислорода в стандартной атмосфере;

$h_3 = 0,176$ км – высота земной станции над уровнем моря [18];

$h_{\text{H}_2\text{O}}$ — эквивалентная толщина слоя водяных паров в стандартной атмосфере.

При расчётах затухания сигнала в стандартной атмосфере эквивалентную высоту слоя кислорода принимают равной $h_{\text{O}} \approx 6$ км, а эквивалентную толщину слоя водяного пара (км) можно вычислить по эмпирической формуле:

$$h_{\text{H}_2\text{O}} = \left(\frac{1}{(F - 183,3)^2} + \frac{1}{(F - 323,8)^2 + 1} + 2,2 + \frac{3}{(F - 22,3)^2 + 3} \right), \quad (15)$$

где F – частота в ГГц.

Результаты вычислений по этим формулам определяют поглощение в спокойной (невозмущенной) атмосфере без гидрометеоров, которое представляет

собой постоянную составляющую потерь, имеющих место в течение 100 % времени.

Удельное поглощение кислородом и водяным паром зависит от давления, влажности, температуры и частоты. Для количественного определения составляющих потерь можно воспользоваться следующими соотношениями.

Поглощение кислородом (дБ/км) определим по формуле:

$$L_O = \rho_O \cdot l_O \quad (16)$$

где $\rho_O = 0,02 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$ – удельное поглощение кислородом в спокойной атмосфере [18].

Удельное поглощение водяным паром (дБ/км) вычислим по следующей формуле:

$$L_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot l_{H_2O}, \quad (17)$$

где $\rho_{H_2O} = 0,16 \text{ дБ/км}$ – удельное поглощение водяным паром в спокойной атмосфере [18].

Для определения эквивалентных длин путей сигнала в стандартной атмосфере, подставив известные значения в формулы (13) и (14), получим:

$$l_O = \frac{6 - 0,176}{\sin(16,381464151128^\circ)} = 20,65 \text{ км};$$

$$l_{H_2O} = \frac{2,242 - 0,176}{\sin(16,381464151128^\circ)} = 7,27 \text{ км}.$$

Эквивалентную толщину слоя водяного пара рассчитали по формуле (15):

$$H_{H_2O} = \left(\frac{1}{(F - 183,3)^2} + \frac{1}{(F - 323,8)^2 + 1} + 2,2 + \frac{3}{(F - 22,3)^2 + 3} \right) =$$

$$= \left(\frac{1}{(11,7 - 183,3)^2} + \frac{1}{(11,7 - 323,8)^2 + 1} + 2,2 + \frac{3}{(11,7 - 22,3)^2 + 3} \right) =$$

$$= 2,22605 \text{ км.}$$

Для того, чтобы найти поглощение в кислороде, подставим известные значения в формулу (16). Получим:

$$L_O = \rho_O \cdot l_O = 0,02 \cdot 20,65 = 0,413 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$$

Удельное поглощение водяным паром рассчитаем по формуле (17):

$$L_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot l_{H_2O} = 0,16 \cdot 7,27 = 1,163 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$$

Поглощение радиоволн в атмосфере определим по формуле:

$$L_{\text{атм}} = L_O + L_{H_2O} = 0,413 + 1,1632 = 1,576 \text{ дБ.}$$

Расчёт потерь энергии в осадках

В общем ослабление радиосигналов в атмосфере могут вносить находящиеся в ней частицы различных веществ воды в виде гидрометеоров (дождь, снег, туман, град, облака), а также пыли и дыма. Ослабление в данном случае обусловлено рассеянием и поглощением части энергии электромагнитных колебаний.

Затухание радиосигналов пропорционально относительному размеру частиц по отношению к длине волны, их концентрации и диэлектрической проницаемости. Частицы пыли и дыма, благодаря их малым относительным размерам и низкой диэлектрической проницаемости, практически никакого влияния на ослабление сигналов в рассматриваемом диапазоне частот не

оказывают. Влияние кристаллов льда в виде ледяных облаков, сухого снега и града не ощущается, поскольку диэлектрическая проницаемость льда существенно ниже, чем воды. Влияние водяных облаков и тумана так же мало из-за малого размера и концентрации частиц в этих образованиях (диаметр капель менее 0,2 мм).

В наибольшей степени радиосигналы ослабляются крупными частицами мокрого снега и града. Однако в большинстве регионов эти природные явления наблюдаются весьма редко, поэтому обычно их влиянием пренебрегают. Существенное влияние на ослабление сигналов оказывает дождь. Интегральным параметром дождя, учитывающим размеры, концентрацию, скорость падения капель и во многом определяющим ослабление радиосигналов, является интенсивность дождя – I [мм/час].

Полное затухание радиоволн в атмосфере с учетом дождя зависит от интенсивности осадков, пространственного расположения дождевой зоны и является случайной величиной.

Потери сигнала в дожде рассчитываются по эмпирической формуле:

$$L_{\text{д}} = a \cdot I^b \cdot l, \text{ (дБ)}, \quad (18)$$

где I — интенсивность выпадения осадков (мм/ч);

l — длина пути сигнала в дождевом слое (км);

a и b — вспомогательные коэффициенты.

Коэффициенты a и b сильно зависят от частоты, влияние других факторов (размера и температуры дождевых капель, поляризации сигнала) проявляется значительно слабее. Хорошим приближением значений a и b являются следующие выражения:

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot F^{2,49}, \text{ при } 2,9 \leq F \leq 54 \text{ ГГц}; \quad (19)$$

$$b = 1,41 \cdot F^{-0,0779}, \text{ при } F \leq 25 \text{ ГГц.} \quad (20)$$

Длину пути сигнала в дождевом слое вычислим по формуле:

$$l = \frac{h_d - h_{зс}}{\sin(\beta)}, \quad (21)$$

где h_3 — высота ЗС над уровнем моря;

h_d — эффективная высота дождевого слоя;

β — угол места антенны ЗС.

Эффективная высота дождевого слоя при $I > 10$ мм/ч связана с высотой нулевой изотермы $h_{и}$ следующим образом:

$$h_d = h_{и} + \log\left(\frac{I}{10}\right), \quad (22)$$

где $h_{и}$ — высота нулевой изотермы.

В результате высота нулевой изотермы $h_{и}$ (км) равна (типичное значение для летнего времени):

$$h_{и} = (7,8 - 0,1 \cdot \varphi_{зс}), \quad (23)$$

где $\varphi_{зс}$ — широта точки размещения ЗС на земной поверхности.

Интенсивность дождя имеет статистический характер и во многом определяется местом расположения ЗС. В соответствии со средним уровнем осадков на поверхности Земли выделено 14 разновидностей климатических зон (рисунок 17).

Для каждой зоны на основании статистики многолетних метеонаблюдений определено максимальное (с некоторой доверительной вероятностью K_d) значение I , которое и является исходным при расчете потерь сигнала в дожде.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 58 |

Исходные значения интенсивности дождя для различных климатических зон приведены в справочнике [19].

Таблица 3 – Исходные значения интенсивности дождя I (мм/ч) для различных климатических зон

| K_d | Климатическая зона | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | P |
| 0,99 | - | 1 | 3 | - | 1 | 2 | - | - | - | 2 | - | 4 | 5 | 12 |
| 0,997 | 1 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 7 | 4 | 13 | 6 | 7 | 11 | 15 | 34 |
| 0,999 | 2 | 3 | 8 | 5 | 6 | 8 | 12 | 10 | 20 | 12 | 15 | 22 | 35 | 65 |
| 0,9997 | 5 | 6 | 13 | 9 | 12 | 15 | 20 | 18 | 28 | 23 | 33 | 40 | 65 | 105 |
| 0,9999 | 8 | 12 | 19 | 15 | 22 | 28 | 30 | 32 | 35 | 42 | 60 | 63 | 95 | 145 |
| 0,99997 | 14 | 21 | 29 | 26 | 41 | 54 | 45 | 55 | 45 | 70 | 105 | 95 | 140 | 200 |
| 0,99999 | 22 | 32 | 42 | 42 | 70 | 78 | 63 | 83 | 65 | 100 | 150 | 120 | 180 | 250 |

В таблице обозначено:

K_d – коэффициент доступности канала связи. Для VSAT технологии K_d диапазона $K_d = 0,997$ [20]. По таблице 3 определим значение интенсивности дождя: $I = 3$ мм/ч;

A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, P – климатические зоны в соответствии с рисунком 17.

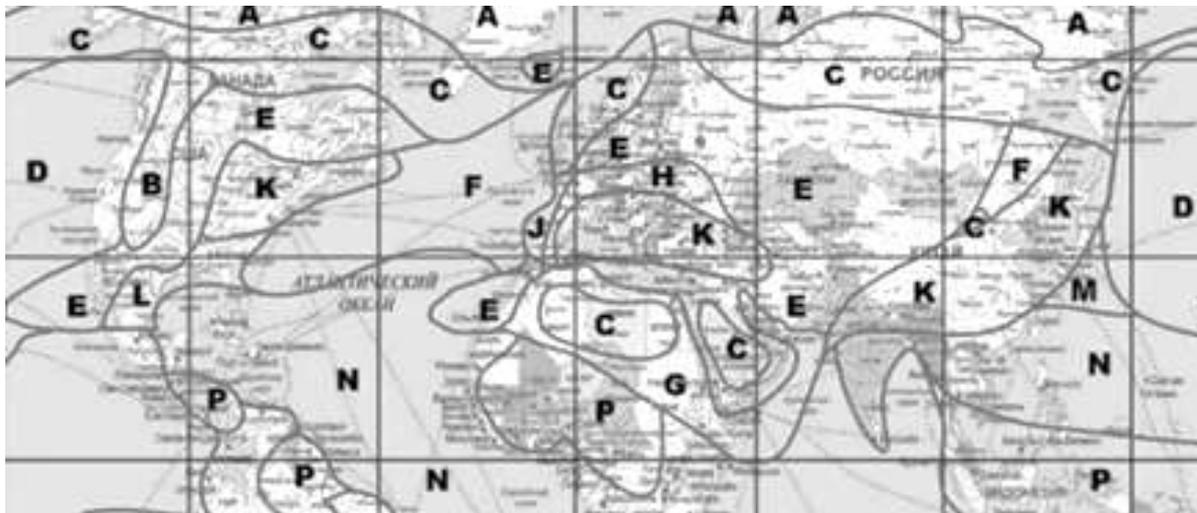


Рисунок 17 – Географическое расположение зон

Найдем вспомогательные коэффициенты a и b , подставив значения в формулы (16) и (17):

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot F^{2,49} = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot 11,7^{2,49} = 0,01923;$$

$$b = 1,41 \cdot F^{-0,0779} = 1,41 \cdot 11,7^{-0,0779} = 1,1641.$$

Т.к $\varphi_{зс} > 10^\circ$, то высоту нулевой изотермы найдем по формуле (23):

$$h_{и} = 7,8 - 0,1 \cdot 54,330271^\circ = 2,36697 \text{ км},$$

где $\varphi_{зс}$ – широта точки размещения ЗС на земной поверхности.

Эффективная высота дождевого слоя рассчитаем по формуле (22):

$$h_{д} = 2,36697 + \lg\left(\frac{3}{10}\right) = 2,709 \text{ км}.$$

Далее найдем длину пути сигнала в дождевом слое подставив значения в формулу (21):

$$l = \frac{2,709 - 0,176}{\sin(16,381464151128^\circ)} = 8,982 \text{ км.}$$

Рассчитаем потери сигнала в дожде по формуле (18):

$$L_{\text{д}} = 0,019 \cdot 22^{1,16} \cdot 8,98 = 6,313 \text{ дБ.}$$

Расчет суммарных потерь

Определим суммарные потери по формуле:

$$L_{\text{сум}} = 205,8454 + 1,576 + 6,313 = 213,7346 \text{ дБ.}$$

4.3 Разработка приемного комплекта

Как уже было сказано, комплект оборудования для приема телевизионного сигнала состоит из спутниковой тарелки, конвертора и ресивера.

Коэффициент усиления приемной антенны найдем по следующей формуле:

$$G_{\text{ПРМ}} = L_{\text{СВ}} + L_{\text{д}} + L_{\text{АТМ}} + L_{\text{ф ПРМ}} + L_{\text{ф ПРД}} - P_{\text{ПРД}} - G_{\text{ПРД}} + P_{\text{с}}, \quad (24)$$

где $P_{\text{с}} = -65$ дБм – минимальная необходимая принимаемая мощность сигнала;

$P_{\text{ПРД}} = 53,4$ дБ·Вт – мощность передатчика;

$G_{\text{ПРД}} = 38,7$ дБи – коэффициент усиления передающей антенны [24];

$G_{\text{ПРМ}}$ – коэффициент усиления приемной антенны;

$L_{\text{СВ}}$ – затухание радиосигнала в свободном пространстве;

$L_{\text{д}}$ – затухание радиосигнала в дожде;

$L_{\text{АТМ}} = L_{\text{О}} + L_{\text{Н2О}}$ – затухание сигнала в атмосферных газах;

$L_{\text{ф ПРД}} = 4$ дБ – затухание радиосигнала в фидерном тракте передачи для Intelsat 33e [21];

$L_{\text{ф ПРМ}}$ – затухание сигнала в фидерном тракте приема.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 61 |

Из характеристик кабеля RG-6 имеем коэффициент затухания кабеля

$$\alpha_k = 13,61 \frac{\text{дБ}}{100\text{м}}$$

Рассчитаем затухание на единицу длины кабеля по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{к.ед.}} = \frac{13,61}{100} = 0,1361 \text{ дБ/м.}$$

Затухание сигнала в фидерном тракте приема найдем следующим образом:

$$L_{\text{ф.ПРМ}} = 0,1361 \cdot 14 = 1,9054 \text{ дБ.}$$

Подставив все найденные значения в формулу (24), получим:

$$G_{\text{ПРМ}} = 205,845 + 6,313 + 1,576 + 1,905 + 4 - 53,4 - 38,7 + (-95) = 32,5398 \text{ дБи.}$$

По полученным характеристикам выберем спутниковый комплект телевидения. Так как полученное при расчете значение коэффициента усиления приемной антенны будет соответствовать всем трем рассмотренным комплектам, выбор оборудования произведем по другим параметрам. Несмотря на то, что коэффициент шума конвертора комплекта «МТС» выше, чем у других комплектов, остановим выбор именно на данном оборудовании. Это связано прежде всего с тем, что коэффициент усиления конвертора у комплекта «МТС» намного выше, чем у других. Также вполне удовлетворяет ценовая политика на данный комплект.

Рассчитаем характеристики для выбранного комплекта.

Уровень мощности сигнала в точке приема:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 62 |

$$P_c = 53,4 + 38,7 + 35,9 - 205,845 - 6,313 - 1,576 - 1,905 - 4 = -91,639 \text{ дБ} \cdot \text{Вт} = -61,6 \text{ дБм} .$$

Расчет уровня мощности сигнала в точке приема позволяет утверждать, что у абонента будет наблюдаться качество, заявленное в характеристиках ресивера.

Полная мощность шума на входе приемника земной станции определим по формуле:

$$P_{\text{ш.ЗС}} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}} , \quad (25)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц} \cdot \text{К}}$ – постоянная Больцсмана;

$\Delta f_{\text{ш}}$ – эквивалентная (энергетическая) шумовая полоса приемника, Гц;

T_{Σ} – суммарная эквивалентная шумовая температура приемной станции, приведенная к облучателю антенны, К.

Эквивалентная (энергетическая) шумовая полоса приемника (МГц):

$$\Delta f_{\text{ш}} = 1,2 \left(\frac{B}{\log_2 M} \right), \quad (26)$$

где $M = 4$ – позиционность модуляции;

$B = 2$ Мбит/с – скорость передачи [8].

Значение суммарной эквивалентной шумовой температуры приемного устройства определяется шумами антенны, волноводного тракта приемной станции и собственными шумами приемника. Для практических расчетов все составляющие суммарной шумовой температуры удобно пересчитать к облучателю приемной антенны:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \left(\frac{1}{\eta_{\text{пр}}} - 1 \right) + \frac{T_{\text{пр}}}{\eta_{\text{пр}}}; \quad (27)$$

где T_A — результирующая шумовая температура антенны, К;

$T_0 = 290$ К — физическая температура окружающей среды;

$\eta_{\text{ПР}}$ — коэффициент передачи (по мощности) волноводного тракта приемной станции от облучателя антенны до входа приемника (принимается равным 0,8) [22];

$T_{\text{ПР}}$ — собственная шумовая температура приемника, К.

В свою очередь для приемной антенны земной станции:

$$T_A = T_{\text{атм}}(\beta) + c \cdot T_3 + T_{\text{косм.}}(\beta), \quad (28)$$

где $T_{\text{атм}}$ — шумовая температура, обусловленная шумами атмосферы и зависящая от угла места;

T_3 — шумовая температура, обусловленная тепловым излучением Земли, $T_3 = 290$ К;

$T_{\text{косм.}}(\beta)$ — шумовая температура, обусловленная шумами космического происхождения;

c — коэффициент, учитывающий усредненный уровень боковых и задних лепестков диаграммы направленности антенны. Коэффициент $c = 0,2$ для антенн ЗС [22].

Шумы космического происхождения определяются в основном излучениями Галактики, Солнца и Луны. При этом усредненная температура шумов Галактики пренебрежимо мала в полосах частот от 4 до 6 ГГц и выше и не превышает 10 К на частотах более 1 ГГц при любых углах места.

Шумовая температура атмосферы $T_{\text{атм}}(\beta)$ определяется излучением спокойной атмосферы и влиянием осадков. Это явление объясняется законом термодинамического равновесия, согласно которому среда (атмосфера, осадки) излучает такое же количество энергии, которое поглощает.

Таким образом, эта составляющая носит статистический характер, связанный с потерями в спокойной атмосфере и дождях, зависит от частоты и угла места.

Шумовую температуру атмосферы определяем по рисунку 18 – зависимость шумовой температуры атмосферы (с учетом осадков) от частоты и угла места (в дБ).

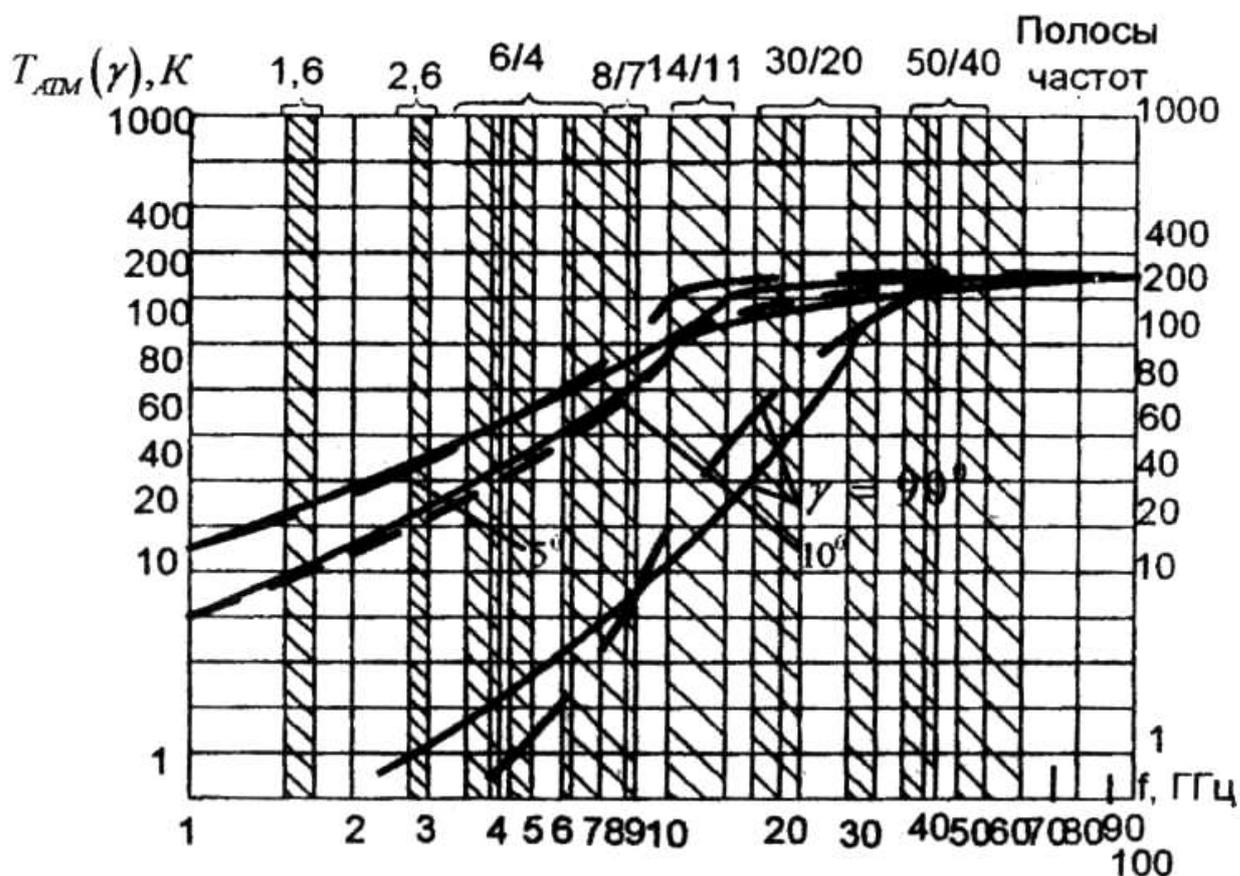


Рисунок 18 – График зависимости шумовой температуры атмосферы

В соответствии с рисунком 18, шумовая температура атмосферы для диапазона частот 14/11 ГГц: $T_{\text{атм}}(\beta) = 100 \text{ К}$.

Отношение сигнал/шум находится по формуле:

$$\frac{C}{\text{Ш}} = P_c - P_{\text{ш.зс}} \quad (29)$$

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
| | | | | |

Определим эквивалентную (энергетическую) шумовую полосу приемника подставив значения в формулу (23), получим:

$$\Delta f_{\text{ш}} = 1,2 \left(\frac{2}{\log_2 4} \right) = 1,2 \text{ МГц.}$$

Определим результирующую шумовую температуру антенны по формуле (28):

$$T_A = 100 + 0,2 \cdot 290 + 10 = 168 \text{ К.}$$

Значение суммарной эквивалентной шумовой температуры приемного устройства определим по формуле (27):

$$T_{\Sigma} = 168 + 290 \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right) + \frac{90}{0,8} = 353 \text{ К.}$$

Полная мощность шума на входе приемника земной станции определим по формуле (25):

$$P_{\text{ш.ЗС}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 353 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = 5,84 \cdot 10^{-15} = -149,75 \text{ Дб} \cdot \text{Вт.}$$

Отношение сигнал/шум найдем по формуле (29):

$$\frac{С}{Ш} = -61,6 - (-149,75) = 88,15 \text{ дБ.}$$

Полученное отношение сигнал/шум при диаметре антенны ЗС 0,6 м обеспечивает должное качество и надежность связи, следовательно, спутниковое телевидение будет предоставляться в полном объеме.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 66 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спутниковое телевидение является на данный момент одним из самых надежных и экономичных способов передачи телевизионных сигналов высокого качества в любую точку нашей страны. К преимуществам спутникового телевидения относятся: возможность приема сигнала практически неограниченным числом приемных установок, независимость затрат на приемную установку от расстояния между источником телевизионного сигнала и абонентом (в пределах зоны обслуживания), незначительное влияние географических особенностей местности и атмосферы на устойчивость приема.

В данной работе были рассмотрены принципы построения спутниковой системы связи, принцип работы спутникового телевидения. Описано оборудование для приема спутникового сигнала. В качестве технологии для предоставления спутникового телевидения была выбрана технология VSAT, ее основные преимущества и недостатки рассмотрены в главе 2 данной работы. Был произведен выбор искусственного спутника земли, который соответствует следующим параметрам: обеспечивает устойчивую и бесперебойную связь в селе Новая Авгура в Ku-диапазоне. Таким образом, выбор был сделан в пользу люксембургского спутника Intelsat 33e, расположенного на геостационарной орбите 60° в.д.

Было выбрано оборудование наземной группировки: комплект оборудования МТС, в который входят: антенна с диаметром 0,6 м; ресивер Castpal DS701; конвертор Universal Single LNB. Данное оборудование было выбрано в соответствии с проведенными расчетами. Определено, что данное оборудование полностью соответствует рассчитанным параметрам. Далее был проведен расчет основных параметров выбранного оборудования. Результаты расчета показали, что комплект оборудования от оператора «МТС» будет обеспечивать качественный прием спутникового сигнала со спутника Intelsat 33e на приемную станцию, расположенную в селе Новая Авгура.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 67 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Орбиты искусственных спутников Земли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lib.qrz.ru/node/1357> (Дата обращения: 5.02.19)
- 2 Низкоорбитальные системы спутниковой связи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kunegin.com/ref1/sput/loworb.htm> (Дата обращения: 10.02.19)
- 3 Основные сведения о высоких эллиптических орбитах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mediasat.info/2015/07/10/heo/> (Дата обращения: 12.02.19)
- 4 Архитектура и основные принципы работы спутниковых систем связи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docplayer.ru/75447592-4-arhitektura-i-osnovnye-principy-raboty-sputnikovyh-sistem-svyazi.html> (Дата обращения: 12.02.19)
- 5 Бирюкова О.В. Спутниковое телевидение. Электронный учебник. Режим доступа: <http://www.xn--j1al4b.xn> (Дата обращения: 15.02.19)
- 6 Спутниковые сервисы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ido.tsu.ru/other_res/ep/setevie_umk/text/f10_1_2.html (Дата обращения: 15.02.19)
- 7 История VSAT [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://altegrosky.ru/istoriya-vsats/> (Дата обращения: 17.02.19)
- 8 Обзор спутниковых технологий VSAT с различными топологиями [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://satprocom.ru/dokumentacija/13402/> (Дата обращения: 17.02.19)
- 9 Эволюция сетей спутниковой связи VSAT: от SCPC к TDM/MF-TDMA [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.satcomservice.ru/dvbrcs.html> (Дата обращения: 17.02.19)
- 10 Оборудование для приема спутникового телевидения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://antenna.nnov.ru/satoborud-sputnikovoe-oborudovanie.html> (Дата обращения: 21.02.19)

11 Типы спутниковых антенн [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://prospuutnik.ru/tipy-sputnikovykh-antenn> (Дата обращения: 30.01.19)

12 Преимущества и недостатки офсетных и прямофокусных спутниковых антенн [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://moy-sat-apparat.ru/ustanovka/teoria_sputnik_tv/page015/index.html (Дата обращения: 07.03.19)

13 Типы спутниковых антенн [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://prospuutnik.ru/tipy-sputnikovykh-antenn> (Дата обращения: 15.03.19)

14 Спутниковый конвертор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://digitsattv.ru/konverter/> (Дата обращения: 20.03.19)

15 Спутниковое телевидение НТВ Плюс. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://onix-zelenodolsk.ru/uslugi/sputnikovoe-tv/ntv-plyus> (Дата обращения: 12.04.19)

16 Спутниковое ТВ оборудование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ics-ru.com> (Дата обращения: 16.04.19)

17 Корпоративный бюллетень международной организации космической связи «Интерспутник» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.intersputnik.com/upload/iblock/2c0/intersputnik_today_17.pdf (Дата обращения: 24.04.19)

18 Осипенко О.П. Влияние атмосферных газов и гидрометеоров на затухание спутниковых сигналов разных УКВ диапазонов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://interactive-plus.ru/ru> (Дата обращения: 28.04.19)

19 Рекомендация Р-837-6 МСЭ-Р [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-6-201202-S!!PDF-R.pdf (Дата обращения: 05.05.19)

20 Коэффициент доступности канала [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.imanadv.ru/index.php/o-kompanii/litsenziya/2-uncategorised/42-sputnikovaya> (Дата обращения: 07.05.19)

21 Engineering Statement [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1088855 (Дата обращения: 20.05.19)

22 Ерохин Г.А., Мандель В.И., Нестеркин Ю.А., Струков А.П. Методика расчета энергетического запаса радиолинии «космический аппарат – станция». Том 5, выпуск 1, 2018 – 71 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | БР-02069964-11.03.02-03-19 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 70 |

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н.П. ОГАРЁВА»

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о бакалаврской работе

выпускника института электроники и светотехники

Доронькиной Юлии Ивановны

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка приемного модуля наземного сегмента спутниковой системы связи».

За время работы над выпускной квалификационной работой Доронькина Юлия Ивановна показала себя самостоятельным, хорошо подготовленным специалистом. Все задания на исследование ею выполнены точно в срок и с высоким качеством. Умело и грамотно применила полученные за время обучения инженерные навыки, использовала необходимую техническую литературу. Поставленная задача выполнена на высоком техническом уровне.

Бакалаврская работа состоит из четырех разделов. В первой главе описаны общие сведения о спутниковых системах связи. Во второй главе рассмотрены принципы построения спутникового телевидения и описано необходимое оборудование для организации спутникового телевидения. В третьей главе приведено сравнение существующих комплектов спутникового телевидения, описаны их характеристики. Четвертая глава содержит расчеты для разработки приемного модуля.

Бакалаврская работа заслуживает высокой оценки. Доронькина Юлия Ивановна заслуживает присвоения квалификации бакалавра по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент



Дубровин В. С.

