

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

Медеуова Нургуль Даулетбекқызы

«Устройства приема-передачи космических данных на наземные комплексы»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В074600 – Космическая техника и технологии

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий
Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Электроники,
телекоммуникации и
космических технологий»

 Таштай Е.

«29» 05 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Устройства приема-передачи космических данных на наземные
комплексы»

по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнил



Медуюова Н.Д.

Рецензент
PhD, зав.кафедры «КИ».
Алматинский университет
энергетики и связи имени
Г.Даукеева

 Төлендіұлы Санат

«29» 05 20 г.

Научный руководитель
к.т.н, заведующий
кафедрой «Электроники,
телекоммуникации и
космических технологий»

 Таштай Е.

«29» 05 20 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматике и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космическая технологий»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Электроники,
телекоммуникации и
космической технологий»


Таштай Е.
«21» XII 2021 г

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Дипломнице Медеуовой Нургуль Даулетбекқызы

Тема: «Устройства приема-передачи космических данных на наземные комплексы»

Утверждена приказом Ректора Университета ...№489-П/Ө... от «24» декабря 2021 года.

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе: 1. Требования ИСО 13537-2010 Космические данные и системы передачи информации – Эталонная архитектура для космических данных; 2. Требования ИСО 15887-2013 Космические данные и системы передачи информации – сжатие данных без потерь. 3. Требования ИСО15893-2010 – Космическая связь. Спецификация протокола (SCPS). Транспортный протокол (SCPS-TP) 4. Скорость передачи информации не менее 38 кБ/сек ; 5. Диапазон частот радиоконспекса 300-450 МГц

Перечень вопросов подлежащих изучить и представить в дипломной работе:

- а) Обзор роли и место общей инфраструктуры систем спутниковой связи
- б) Состав и структура передачи данных на примере систем Iridium
- в) Наземный сегмент систем связи на средневысотных орбитах в системах Odyssey
- г) Принципы построения системы передачи телеметрической информации
- д) Бортовые радиоконспексы ма. ческих аппаратов

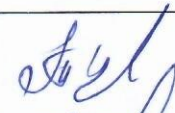
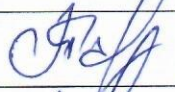
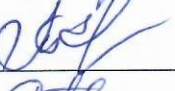
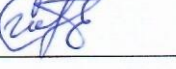
ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1.Исследование и обзор инфраструктуры систем спутниковой связи	1.09.2021-31.12.2021	Выполнено
2.Изучить состав и структуру передачи данных на примере систем Iridium	1.01.2022-30.01.2022	Выполнено
3.Анализ наземных сегмент систем связи на средневысотных орбитах в системах Odyssey	1.02.2022-15.02.2022	Выполнено
4.Принципы построения системы передачи телеметрической информации	16.02.2022-31.03.2022	Выполнено
5.Бортовые радиокомплексы малых космических аппаратов	1.04.2022-15.04.2022	Выполнено
6.Написание дипломной работы	15.04.2022-30.04.2022	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Обзор роли и место общей инфраструктуры систем спутниковой связи	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е	31.12.2021	
Системы приёма-передачи космических данных	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е	15.02.2022	
Расчет энергетического потенциала линии связи	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е	30.04.2022	
Нормоконтролер	Магистр технических наук, лектор - Ибекеев С.	26.05.2022	

Научный руководитель



к.т.н. Таштай Е

Задание принял к исполнению обучающийся

“30”10..... 2021 г.

Медеуова Н.Д

АННОТАЦИЯ

В данной работе сделан обзор роли и место общей инфраструктуры систем спутниковой связи, описана структура передачи данных на примере систем Iridium и наземный сегмент систем связи на средневысотных орбитах в системах Odyssey. Представлены принципы построения системы передачи телеметрической информации, а также бортовые радиокомплексы для малых космических аппаратов.

Происходит быстрый рост развития технологий в системах спутниковых связей. Причиной такого быстрого роста является ряд их преимуществ таких, как большая пропускная способность, неограниченные перекрываемые пространства, высокое качество и надежность каналов связи, а также покрытие мест с низкой плотностью населения, что напрямую касается нашей страны. По этой причине наша страна должна находиться на передовой развития спутниковых систем, в том числе малых габаритов.

АНДАТПА

Бұл жұмыста спутниктік байланыс жүйелерінің жалпы инфрақұрылымының рөлі мен орнына шолу жасалды, Iridium жүйелері мысалында деректерді беру құрылымы және Odyssey жүйелеріндегі орта орбиталардағы байланыс жүйелерінің жер сегменті сипатталған. Телеметриялық ақпаратты беру жүйесін құру принциптері, сондай-ақ шағын ғарыш аппараттарына арналған борттық радиокомплексер ұсынылған.

Спутниктік байланыс жүйелерінде технологиялардың дамуы тез өсуде. Мұндай жылдам өсудің себебі олардың үлкен өткізу қабілеті, шексіз қабаттасатын кеңістіктер, байланыс арналарының Жоғары сапасы мен сенімділігі, сондай-ақ біздің елге тікелей қатысты халықтың тығыздығы төмен жерлерді жабу сияқты бірқатар артықшылықтары болып табылады. Осы себепті біздің еліміз спутниктік жүйелерді, оның ішінде шағын көлемді жүйелерді дамытуда алдыңғы қатарда болуы керек.

ANNOTATION

In this paper, an overview of the role and place of the overall infrastructure of satellite communication systems is made, the structure of data transmission is described using the example of Iridium systems and the ground segment of communication systems in medium-altitude orbits in Odyssey systems. The principles of constructing a system for transmitting telemetric information, as well as on-board radio systems for small spacecraft are presented.

There is a rapid growth in the development of technologies in satellite communications systems. The reason for such rapid growth is a number of their advantages, such as large bandwidth, unlimited overlapping spaces, high quality and reliability of communication channels, as well as coverage of places with low population density, which directly affects our country. For this reason, our country should be at the forefront of the development of satellite systems, including small ones.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Обзор роли и место общей инфраструктуры систем спутниковой связи	10
1.1 Роль ССС	10
1.2 Место общей инфраструктуры ССС	13
1.3 Система Iridium и структура передачи данных на её примере	17
2 Системы приёма-передачи космических данных	25
2.1 Принципы построения системы передачи телеметрической информации	25
2.2 Наземный сегмент систем связи на примере системы Odyssey	28
2.3 Бортовые радиоконкомплексы малых космических аппаратов	30
3 Пример расчёта энергетического потенциала линии связи	34
3.1 Энергетический расчёт линии «вниз»	34
3.2 Энергетический расчёт линии «вверх»	36
Заключение	38
Список использованной литературы	39
Список использованных сокращений	40

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе сделан обзор роли и места общей инфраструктуры систем спутниковой связи, описана структура передачи данных на примере систем Iridium, а также наземный сегмент систем связи на средневысотных орбитах в системах Odyssey. Представлены принципы построения системы передачи телеметрической информации, а также бортовые радиоконкомплексы для малых космических аппаратов.

В настоящее время быстро развиваются технологии спутниковой связи. Такие качества систем спутниковой связи, как высокая пропускная способность, широкое покрытие территории, в том числе и с низкой концентрацией потребителей, что напрямую важно и для нашей страны, надежность каналов связи привели к их развитию.

Свою популярность получили и технологии, основанные на малых орбитах спутников. К таковым относятся системы Iridium и Odyssey, использующие различные принципы работы, описанные в работе. А совершенствование систем передачи и бортовых радиоконкомплексов, привело к распространению малых космических аппаратов.

1 ОБЗОР РОЛИ И МЕСТО ОБЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Системы спутниковой связи (ССС) глубоко внедрились в нашу современную жизнь и очень тяжело представить, как бы развивался мир без них. Кажется, что они существовали достаточно давно, однако их история развития началась с писателя-фантаста Артура Кларка. Он опубликовал статью «Внеземные ретрансляторы» в журнале «Wireless World» в 1945 году [1]. Именно он предложил создать ССС на геостационарной орбите Земли. И хотя он не рассчитывал на появление данных технологий при его жизни, он ошибался. В 1957 году на орбиту был отправлен первый искусственный спутник Земли, запущенный рядом ученых под руководством А.С. Королёва [2]. Первые ССС продолжали стремительно завоёвывать мир, хотя и с государственным контролем и уклоном к оборонным целям. Но по мере развития аппаратуры, и способов передачи связи отдельные линии были вытеснены локальными и глобальными ССС.

1.1 Роль ССС

Такие качества систем спутниковой связи, как высокая пропускная способность, широкое покрытие территории, в том числе и с низкой концентрацией потребителей и надежность каналов связи показали перспективы их дальнейшего развития. Это дало ход широкому распространению спутниковой связи. Каждая крупная страна или их коалиции пытается развить собственную или совместную сеть спутниковой связи, что приводит к увеличению количества искусственных спутников на орбите Земли.

На территориях с низкой плотностью населения часто сталкиваются с проблемами связи. Из-за малого количества потребителей невыгодно использовать кабельную систему связи с экономической точки зрения. Там гораздо выгоднее использовать систему спутниковой связи. По этой причине на территории Казахстана более привлекательно развивать ССС. Это связано как с далеким расположением населенных пунктов друг от друга, так и с крайне низкой плотностью населения, что составляет около шести с половиной человек на квадратный километр.

Также ССС можно использовать в интересах государственной безопасности, в целях социально-экономического развития и в различных научных проектах, связанных в том числе с метеорологическими исследованиями.

По типу орбиты искусственных спутников их системы принято разделять на две крупные группы, к которым относятся геостационарные и негеостационарные. Геостационарные (рис. 1.1) определяются такой орбитой, которая позволяет находиться над определенной территорией постоянно. Это

достигается совпадением угловой скорости вращения спутника с угловой скоростью Земли. Для обеспечения постоянства высоты полета обычно поддерживается высота в тридцать шесть тысяч километров. Данное число выбрано не случайно, а связано с влиянием центробежной и гравитационной сил на спутник. Но эта же высота приводит к постоянной задержке сигнала в четверть секунды из-за необходимости дважды преодолеть это расстояние от Земли к спутнику и обратно [3]. Однако постоянство вращения позволяет упростить наземные станции, избавляясь от необходимости постоянно отслеживать местоположение спутника.

Негеостационарные орбиты не имеют соответствия угловых скоростей вращения спутника и Земли, что приводит к непостоянной связи с наземными станциями. Однако вращаясь по такой орбите они могут покрыть гораздо большую территорию планеты, что позволяет их применять как в научных, так и в военных целях.

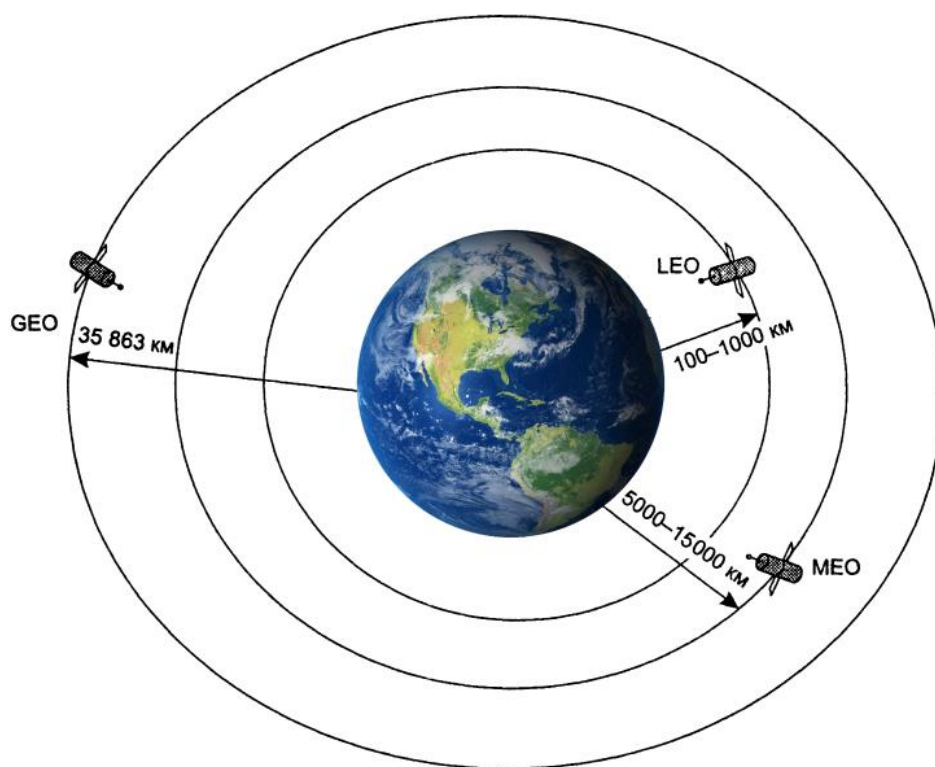


Рисунок 1.1 – Различные орбиты земных спутников

ССС отличаются и по способу передачи сигнала. Цифровой способ передачи сигнала относительно аналогового имеет свои плюсы. Возможность собирать сигналы в «пакеты» позволяет объединять несвязанные сигналы, что уменьшает размеры передачи в сравнении с аналоговыми. Пакетные передачи также приводят к экономии электричества и времени, и соответственно к экономии средств. Также к плюсам относится меньшая восприимчивость к искажениям сигналов, чем в случае с аналоговыми и возможность находить и исправить возможные искажения. Цифровой способ передачи позволяет

обеспечить конфиденциальность передачи данных, гибкость реализации цифровой аппаратуры, допускающая использование микропроцессоров, цифровую коммутацию и применение микросхем с большей степенью интеграции компонентов.

Спутниковая связь обеспечивается спутниками, которые выступают в качестве узла первичной сети, телефонного коммутатора и маршрутизатора-коммутатора компьютерной сети. Это происходит благодаря возможности реализации связи не только между наземными станциями и спутниками, но и между самими спутниками, что позволяет создавать прямые космические сети.

Как уже упоминалось раньше орбиты делятся на две группы: геостационарные (GEO) с орбитой около тридцати шести тысяч километров и негеостационарные. К негеостационарным орбитам относится средневысокая (LEO) с орбитой от ста до тысячи километров, маловысотная (MEO) с орбитой от пяти до пятнадцати тысяч километров, а также эллиптическая спутниковая орбита (NEO).

GEO обладают аналогичной угловой скоростью, что и Земля. Спутники, которые расположены на таких высоких орбитах обладают большой территорией покрытия вплоть до четверти поверхности Земли. За счет их геостационарной орбиты они имеют постоянное местоположение в небе для наземных станций, что позволяет избегать необходимости постоянно корректировать направление антенн. Это позволяет уменьшить размеры и сложность наземных станций. Еще одним плюсом высокой орбиты является низкая плотность окружающей среды, что ослабляет износ спутников и увеличивает срок их работы (что в том числе приводит к экономии). Также они поддерживают большое количество каналов связи из-за большего количества антенн. Раньше для них использовались антенны диаметром до 10 м параболической формы для фокусировки и усиления сигнала на приемнике, но распространение направленных антенн позволило уменьшить их размеры до 1 м в диаметре. Особое распространение получили малые спутниковые станции (VSAT) (более семи миллионов по всему миру). В основном они применяются для услуг телефонии, передачи данных и конференций. Но крупным недостатком таких спутников, как уже говорилось ранее, является высокая задержка при передаче данных. Это связано с высотой орбиты и необходимостью преодолеть это расстояние дважды. Для радиоволны преодолеть расстояние в 36 тысяч километров займет 120 миллисекунд, что приводит к минимальной задержке в 240 миллисекунд при прямом расположении наземной станции под спутником. К тому же при большем расстоянии пролета радиоволны увеличивается уровень его искажения.

По этой причине интерес также представляют среднеорбитальные спутники. Они имеют орбиту от ста до тысячи километров в высоту, уменьшает задержку сигнала до 50 миллисекунд, но при этом уменьшает уровень покрытия до 10-15 тысячи квадратных километров Земли, что гораздо меньше уровня покрытия для GEO-спутников. Но данную проблему можно решить, увеличив количество спутников. К ССС, применяющим такие орбиты относятся в том

числе и системы GPS и ГЛОНАСС.

Спутники GPS располагаются в шести плоскостях на высоте примерно 20 180 км от поверхности планеты. Спутники ГЛОНАСС работают в трёх плоскостях на 19 100 км высоте. Номинальное количество спутников в обеих системах – 24. Обе системы используют сигналы на основе псевдошумовых последовательностей, применение которых придаёт им высокую помехозащищённость и надёжность при невысокой мощности излучения передатчиков. В соответствии с назначением, в каждой системе есть две базовые частоты – L1 (стандартной точности) и L2 (высокой точности). В ГЛОНАСС используется частотное разделение сигналов, то есть каждый спутник работает на своей частоте. Каждый спутник системы, помимо основной информации, передаёт также вспомогательную, необходимую для непрерывной работы приёмного оборудования.

Несмотря на низкий уровень покрытия порядка восьми тысяч квадратных километров у низкоорбитальных спутников есть и плюсы. Кроме крайне низкой задержки (порядка 20 миллисекунд), их близость к Земле позволяет уменьшить мощность и размеры передатчиков и антенн. При этом период оборота у них достигает полутора-двух часов, что приводит к тому, что чтобы связаться с наземной станцией им требуется около двадцати минут. Крупным минусом таких спутников является влияние атмосферы на сами спутники, что приводит к малому сроку эксплуатации до десяти лет.

Кроме круговых орбит также используются и эллиптические, хотя и не так часто. Их радиус перигея достигает тысячи километров, а апогея вплоть до десятков тысяч километров. Если орбита спутника сильно вытянута по эллипсу, то значительную часть времени он будет расположен в зоне, приближённой к апогею, где его скорость значительно замедляется. Это приводит к тому, что он будет расположен в зоне видимости наземных станций подавляющее время периода своего вращения. Используя несколько спутников, можно добиться возможно непрерывной связи. А вытянутая эллиптическая орбита при этом обеспечить и высокий уровень покрытия. Движение НЕО-орбит не ограничено экваториальными линиями, использование которых приводит к недостаточному покрытию высоких и полярных широт.

1.2 Место общей инфраструктуры ССС

Системы спутниковой связи могут обеспечивать ряд услуг, таких как радиотелефонная связь, передача данных, системы определения местоположения и телевидение.

Радиотелефонная связь представляет собой беспроводную систему телефонной связи. К её плюсам относится отсутствие необходимости в прокладке кабельных систем связи и их обслуживание. Никаких проблем не вызовет ни сложности с непостоянным распределением потребителей, ни

рельеф. Однако проблемы могут погодные условия на качество радиотелефонной связи и степень её искажений. На текущий момент радиотелефонная связь не вытеснила кабельную связь, но предоставила ей качественную и дешевую альтернативу.

Беспроводная система телефонной связи по сравнению с обычной обладает следующими достоинствами:

- меньшие капитальные затраты на ее создание;
- возможность создания независимо от рельефа местности, природных условий и наличия соответствующей инфраструктуры;
- меньший срок окупаемости системы;
- меньшая трудоемкость работ по организации системы и на порядок более быстрыми темпами ввода в эксплуатацию;
- обеспечение надежной и оперативной связи с мобильными пользователями;
- более широкие возможности по управлению системой и по защите информации.

Среди радиотелефонных систем можно выделить такие их разновидности, как:

- системы сотовой радиотелефонной связи;
- системы транкинговой радиотелефонной связи;
- телефоны с радиотрубкой;
- телефонные радиоудлинители;
- системы персональной спутниковой радиосвязи.

Радиотелефонная связь (рис. 1.2) применяет протоколы цифровой передачи сообщений, соответствующие международным стандартам на спутниковую связь. В эти стандарты входит недопустимость прерывания сеанса связи и задержка не более трети секунды при связи в режиме реального времени. К этому привели ряд действий. Ориентирование спутников с предельной точностью, чтобы обеспечить сплошное покрытие территории обслуживания и необходимой численностью антенных систем и наземных станций.



Рисунок 1.2 – Сотовые радиотелефоны

В настоящий момент сотовая связь используется более чем в 140 странах мира на всех континентах земного шара. В Казахстане на сегодня зарегистрировано 25,9 млн. абонентов, которые обслуживаются 3 операторами сотовой связи. Значительный импульс в развитии мобильной связи отрасль получила в 2011 году, когда в стране была внедрена связь стандарта 3G. Начиная с 2023 года, планируется запустить услуги связи в стандарте 5G в областных центрах.

Основной принцип работы цифровой сотовой связи можно выделить в виде ряда блоков. Передатчик превращает сигнал с микрофона в цифровую форму. Этот сигнал специальным образом кодируется при помощи кодера речи, для уменьшения его объема. В этот код вносится дополнительная информация, касательно его защиты от потерь при передаче данных. При этом для обеспечения большей безопасности кодер производит некоторую переупаковку данных и включает в него информацию управления, которая приходит с логического блока. Далее сигнал идет на модулятор и переносит данные перекодированного видеосигнала на частоту коммутатора приема-передачи сигнала. Приемник полностью соответствует передатчику, но блоки выполняют обратные, по отношению к передатчику, функции. Сигнал с блока приема-передачи сигнала идет на демодулятор, выделяющий из модулированного радиосигнала кодированный видеосигнал, несущий информацию. Данные идут на декодер канала, отделяющий управляющую информацию из входного потока и уводит на логический блок. Полученная информация проверяется на присутствие искажений, которые по возможности исправляются. Декодер канала при этом переупаковывает сигнал в обратную сторону. Сигнал с него передается на декодер речи, преобразующий его в звук, но в цифровом виде. Данный сигнал поступает на цифроаналоговый преобразователь и далее в динамик. В некоторых случаях применяют выравнивание звука через эквалайзер, чтобы сгладить возможные искажения сигнала. Система сотовой связи – это комплекс ячеек, которые покрывают обслуживаемую территорию. Принято отображать ячейки в виде правильных шестиугольников. Схожесть данного схематического отображения с пчелиными сотами и стало причиной её названия. На каждую соту выделяется своё радиоборудование. При этом количество пользователей данной соты не остается постоянным. Оно может изменяться при передвижении абонентов между ячейками, что переводит его на обслуживание к ближайшему ретранслятору в другую соту. В центре каждой ячейки располагается базовая станция, предназначенная для оказания сервиса всем абонентам в этой соте.

Транкинговые системы – радиально-зоновые системы связи, осуществляющие автоматическое распределение каналов связи между абонентами. Транкинг – это метод доступа абонентов к общему выделенному пучку каналов, при котором свободный канал выделяется абоненту на время сеанса связи. Базовая станция включает в себя контроллер и ретрансляторы. Контроллер координирует работу станции и связывает каналы ретрансляторов и при этом предоставляют выход на телефонную сеть общего пользования или

другую сеть фиксированной связи. Сеть транкинговой радиосвязи может содержать одну базовую станцию (однозоновая сеть) или несколько базовых станций (многозоновая сеть). Многозоновая сеть обычно содержит соединённый со всеми базовыми станциями по выделенным линиям межзональный коммутатор, который обрабатывает все виды межзональных вызовов.

Современные транкинговые системы, как правило, обеспечивают различные типы вызова (групповой, индивидуальный, широковещательный), допускают приоритетные вызовы, обеспечивают возможность передачи данных и режим прямой связи между абонентскими станциями (без использования канала базовой станции).

Системы пакетной передачи данных обеспечивают передачу любых данных в цифровом виде: телексные, факсимильные сообщения, компьютерные данные и т.д.; как правило, в таких системах отсутствуют требования к оперативности доставки сообщений, скорость передачи составляет от единиц до сотен килобайт в секунду. В настоящее время развернуты несколько систем пакетной передачи данных для организации доступа в Internet.

Идея вещания через спутники разработана задолго до первого запуска спутника-ретранслятора. Причина использования спутников как ретрансляторов сигнала заключается в экономичности. Обычная эфирная антенна принимает сигнал с телестанции, сигнал на которую передан другой станцией. Возникает цепь телестанций, их называют наземными радиорелейными постами или ретрансляторами. Но расстояние между этими ретрансляторами не может быть большим: сигналы затухают в атмосфере, так как на их распространение влияет погода, всевозможные преграды: деревья, высотные строения и другое. При проектировании ретрансляционных сетей необходимо учитывать множество требований. Например, нельзя использовать одинаковые частоты между тремя ближайшими станциями, иначе это приведет к взаимным помехам, и жители, проживающие на границе нескольких станций, не смогут устойчиво принимать сигналы. Спутниковые системы связи могут ретранслировать сигнал на огромные территории.



Рисунок 1.3 – Спутниковое телевидение

Специальные крупные антенны передают сигнал на спутник. Для более качественного сигнала антенны используются с большим диаметром около 12 метров. Спутник получает сигнал различными направленными антеннами, изменяет его частоту, производит усиление и транслирует в сторону Земли. Наиболее широко используется спутниковое вещание в Ku-диапазоне (10,7-12,7 ГГц), иногда используются и C-диапазон (3.4-4.2 ГГц), в основном на магистральных каналах. Спутник может быть оснащен различным количеством ретрансляторов (транспондеров) различных диапазонов, их общее количество может составлять несколько десятков, ширина канала каждого транспондера также может варьироваться в широких пределах, от 27 до 110 МГц. Для оценки общей пропускной способности спутника принято приводить его суммарную полосу пропускания к количеству "эквивалентных" транспондерам шириной 36 МГц.

Сигнал получается слабым после возвращения на Землю, поэтому он фокусируется специальным сферическим отражателем – «тарелка» - на приемник. Далее он идет на усилитель. Задача усилителя — поднять слабый уровень сигнала и конвертировать его на промежуточные частоты, обычно в L-диапазон.

Первые системы C-диапазона использовали другую схему: предварительный усилитель не конвертировал частоту, поэтому для передачи сигнала далее использовался очень дорогой кабель волновым сопротивлением 50 Ом с газовым наполнением и сложные конструкции соединяющих гнезд, а питание подавалось отдельным проводом.

Применение конвертора в более низкие частоты также позволило применить недорогие устройства L-диапазона и даже частот FM, по сути, ресивер стал представлять собой модифицированный телевизионный тюнер, получающий каналы на частотах в районе 70 МГц. Подобные изменения превратили единичные установки спутниковых антенн с помощью специалистов в широкую индустрию, доступную рядовому пользователю.

Сеть спутникового телевидения покрывает большую территорию, которая включает в себя все материки. Она обеспечивает сотни телевизионных каналов, сгруппированных по тематикам: новости, спорт, культура, развлекательное телевидение и другие. Эта сеть позволяет транслировать каналы и в малозаселённых территориях, где нет других видов телевидения.

1.3 Система Iridium и структура передачи данных на её примере

Система Iridium является единственной спутниковой системой, охватывающей сто процентов территории Земли. Американская компания Motorola Inc решила создать компанию Iridium в 1989 году. В июле 1993 года эта компания перешла в руки зарубежных инвесторов. Позднее эта компания была реформирована в Iridium LLC. Ее главной целью было создание уникальной

глобальной сети мобильной спутниковой связи. Для этого было решено сформировать низкоорбитальную группировку из 77 спутников, что соответствует атомному номеру иридия. Для обеспечения связи со спутниками необходимо было сформировать наземную инфраструктуру. Для этих целей внесли более семи миллиардов долларов. Однако в августе 1999 года компания объявила о банкротстве из-за низких продаж и слабой окупаемости.

В ноябре 2000 года была сформирована компания Iridium Satellite LLC, которая решила выкупить все активы Iridium LLC за 25 миллионов долларов. Как результат с декабря 2000 года было восстановлено обслуживание основных абонентов компании, а коммерческая эксплуатация системы была возобновлена в марте 2001 года.

На текущий момент в системе Iridium находятся 66 низкоорбитальных спутников на шести приполярных орбитах. Спутники включают в себя возможность передавать сигнал с одного спутника на другой без необходимости передавать его через Землю. Это показывает, что для стабильной работы Iridium достаточно и одной станции сопряжения, для приёма всех абонентских звонков. Но на текущий момент работают две станции сопряжения. Вся полоса межспутниковой линии распределена по восьми частотным каналам и позволяет в каждом направлении отправлять данные вплоть до 25 Мбит/с. Спутники Iridium расположены ниже всех остальных спутников, используемых другими известными системами мобильной спутниковой связи, на высоте 780 км.

До 2008 года эта сеть предоставляла лишь низкую скорость до 2,4 кбит/с для передачи данных. Это требовало для абонента иметь мобильный спутниковый телефон 9505А, комплект для передачи данных, кабель для подключения телефона к последовательному порту компьютера и непосредственно сам компьютер. Стабильный сигнал позволял отправлять и принимать электронную почту и/или файлы размером до 150 Кб.

В 2008 году компания Iridium сообщила о запуске системы Iridium OpenPort, которая ориентирована на абонентов, которые нуждаются в высокой скорости передач данных. OpenPort обеспечила им доступ в Интернет со скоростью до 128 Килобит в секунду, что дало возможность системе Iridium успешно конкурировать с другими компаниями. При этом их терминалы Iridium OpenPort можно использовать как на морских судах, так и на суше. Небольшой проблемой являются достаточно большие размеры и вес выносной антенны.

Сама система Iridium включает в себя космический и наземный сегменты. Структура системы Iridium показана на рисунке 1.4

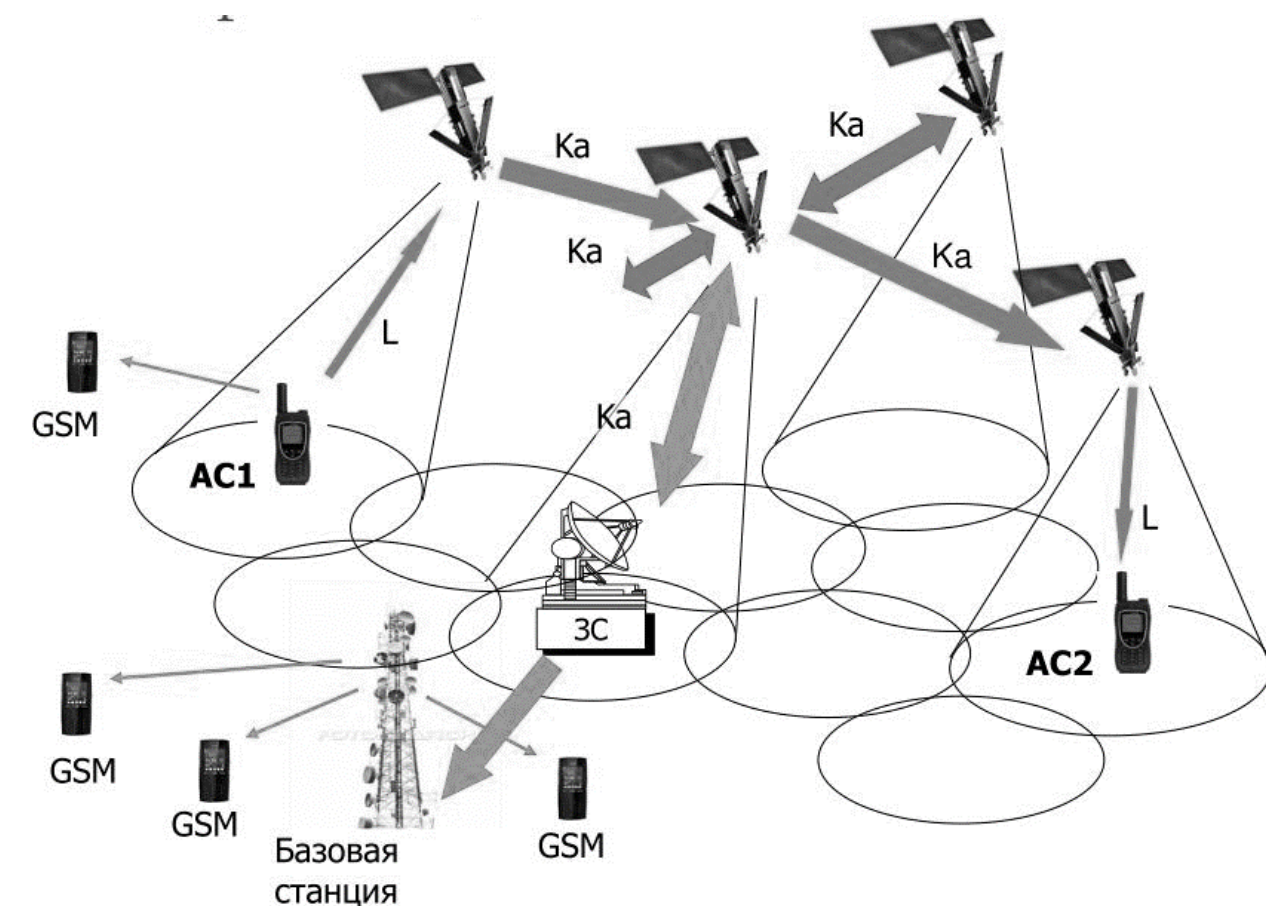


Рисунок 1.4 – Структура системы Iridium

В состав наземного сегмента входит наземная инфраструктура управления системой. В её состав входят главный и резервный центры управления и земные станции, обозначенные ЗС на рисунке 4, для передачи команд и телеметрической информации. Работа каждого КА, да всей системы в целом осуществляется главным и резервным центрами управления, которые расположены на приличном расстоянии друг от друга на территории США. Главный расположен в штате Аризона. Его главной задачей является контроль и оценка работоспособности элементов системы и каждого КА по отдельности.

За глобальное управление сети, в том числе планирование запусков, контроль работоспособности КА, сбор и анализ телеметрических бортовых данных в наземном сегменте отвечает комплекс управления и контроля сети. Он состоит из двух станций, располагающихся в штате Вирджиния, США и в Риме, Италия.

Космический сегмент состоит из 66 низкоорбитальных спутников на шести приполярных орбитах в 780 км, согласно рисунку 1.5. Спутники расположены в шести равноудаленных друг от друга орбитальных плоскостях по одиннадцать в каждой из них. Угловой разнос между КА в одной плоскости составляет $32,7^\circ$. Соседние орбитальные плоскости разнесены примерно на $31,6^\circ$, а разнос между первой и шестой плоскостями составляет $22,1^\circ$. Период обращения составляет около 100 мин [4].



Рисунок 1.5 – Спутниковая система Iridium

Спутники имеют свою территорию покрытия с диаметром около сорока семи сотен километров и площадью около девятнадцати квадратных километров. Каждая такая территория поделена на условные шестиугольные секторы вплоть до сорока восьми. Каждый такой сектор формирует сотовую ячейку. Чтобы обеспечить стопроцентное покрытие всех возможных абонентов на всей территории Земли было решено использовать контролируемую конфигурацию орбитальной группировки.

Кроме связи спутников с наземными станциями, они могут связываться с «соседями» (см. рисунок 1.5), расположенными спереди и сзади в той же орбитальной плоскости или слева и справа в соседних орбитальных плоскостях.

Автономная навигационная подсистема со встроенными датчиками астроориентирования используется для стабилизации космических аппаратов по всем трём осям. Она каждые четверть миллисекунды собирает данные с высокой степенью точности об местоположении и направленности.

И все эти усилия предназначены для предоставления дуплексной радиотелефонной, факсимильной связей, для передачи данных, и предоставления ряда других услуг. К ним относятся абонентская связь через персональные терминалы и/или через общую телефонную сеть, отправка сигналов уведомлений на пейджер и данные геолокации.

К таким персональным терминалам относятся в том числе переносные малогабаритные (весом до 700 г) и мобильные (весом до 2,5 кг), созданные

компанией Motorola. Все терминалы фиксируются в национальной шлюзовой станции, где им причисляется специальный номер и его первоначальное местоположение [5].

Так как вся территория обслуживания делилась на сотовые ячейки, не более чем 48 таковых на один космический аппарат, то на них применялись сорока восьмилучевая антенная система. Она включала в себя шесть фазированных антенных решёток, образующих по восемь лучей. Каждый такой луч высвечивает на поверхности Земли зону обслуживания диаметром около шестисот километров, что вместе образует зону более четырех тысяч километров покрытия с одного космического аппарата (см рисунок 1.6).

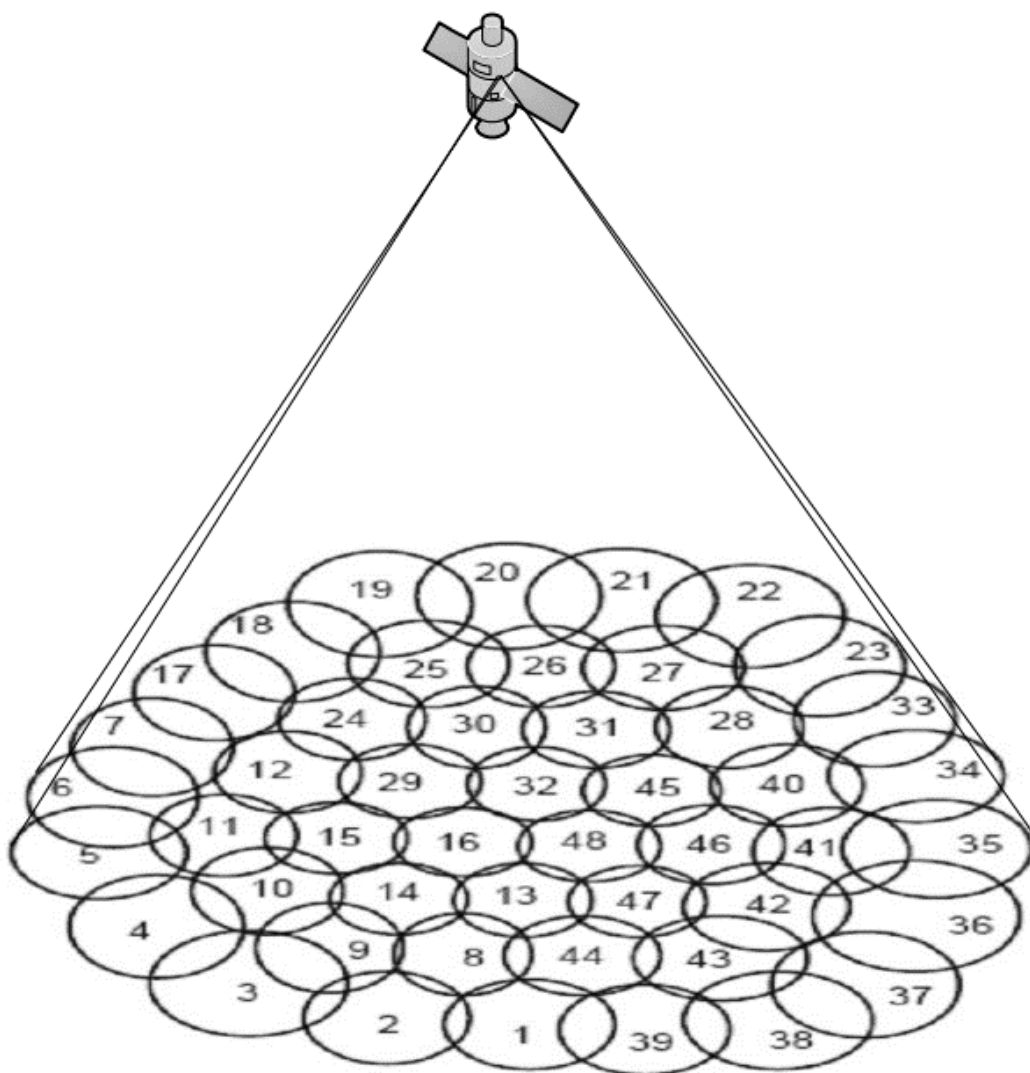


Рисунок 1.6 – Формирование 48-лучевой зоны.

Для каждого канала в системе спутниковой связи Iridium выделялась определенная радиочастота и определенный временный слот.

Все каналы можно было отнести либо к служебным, либо к абонентским. Служебные каналы использовались для работы самой системы и

сопровождения абонентского терминала, то есть радиовещательные каналы, каналы вызова, обнаружения сигнала или синхронизации.

Каналы, применяемые для предоставления услуг связи, относились к абонентским каналам. К таким относятся каналы трафика, дуплексные речевые каналы, совмещенные дуплексные каналы для передачи речи и данных, дуплексные каналы передачи данных и каналы передачи сообщений.

Для нескольких типов каналов могли использоваться определенные сочетания временного слота и несущей частоты с учетом вида обслуживания в каждом случае. Но при этом каждое конкретное сочетание временного слота и несущей частоты используется только для одной цели.

На рисунке 1.7 приведена иерархия каналов CCC Iridium.

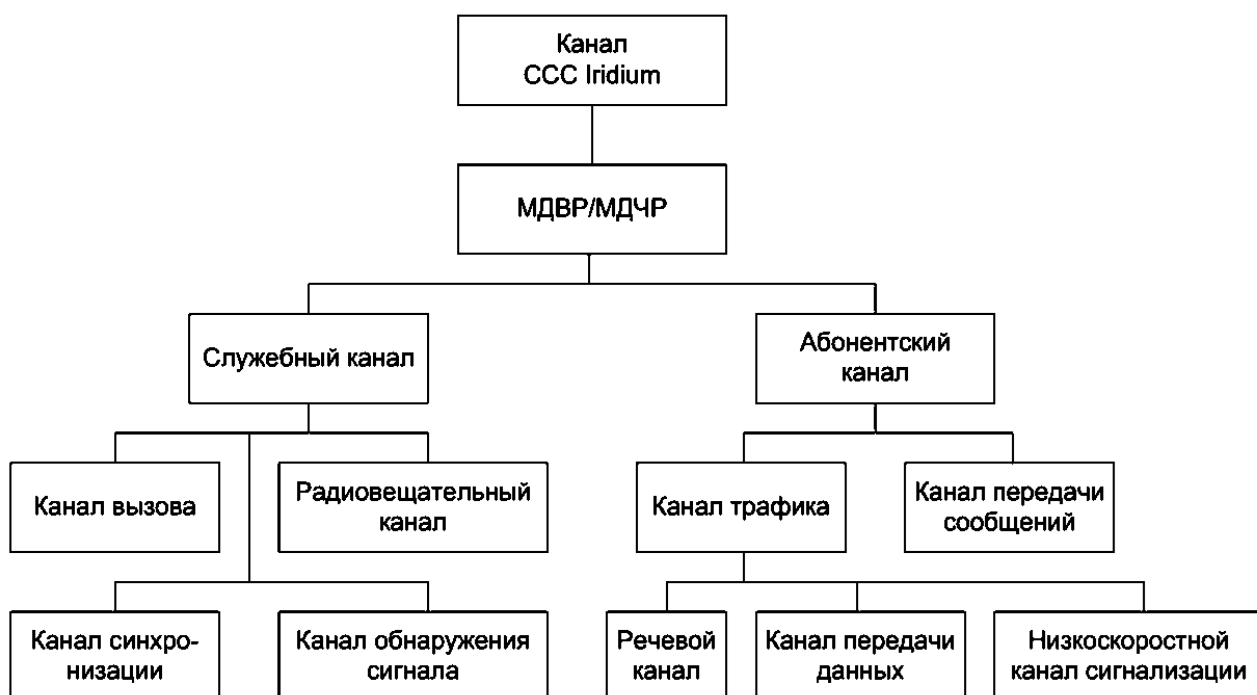


Рисунок 1.7 – Иерархия каналов Iridium.

CCC Iridium имеет четыре типа служебных каналов:

- канал вызова;
- радиовещательный канал;
- канал обнаружения сигнала;
- канал синхронизации.

Каналы в системе Iridium предоставляются с помощью гибридного множественного доступа с временным (МДВР) или частотным (МДЧР) разделением многостанционного доступа. Отдельные каналы повторно применяются в других пространственно-разнесенных лучах подспутниковой зоны одного космического аппарата.

Структура пакета в канале трафика одинакова для линии «вверх» и линии «вниз». Каждый пакет длится около восьми миллисекунд и содержит четыреста

четырнадцать канальных символов. Пакет имеет четыре поля:

- преамбула;
- кодовое слово;
- слова управления линии;
- поле полезной нагрузки.

Канал вызова – это канал связи в линии «вниз», который применялся для передачи сообщений вызова отдельным абонентским терминалам. Данная радиочастота канала вызова является уникальной для использования во всей системе Iridium. В данном канале используется множественный доступ с временным разделением (МДВР) для передачи сообщений вызова различным абонентским терминалам на данной единой частоте.

Радиовещательные каналы – это каналы связи в линии «вниз», используемые для контроля детектирования сигналов спутника абонентами и передачи им определенных команд управления. Данные каналы используются для передачи информации о частотах и синхронизации в системе на абонентские терминалы, ещё до того, как они начнут передавать запрос обнаружения сигнала. Кроме того, эти каналы используют для передачи сообщений по линии связи «вниз». В этих сообщениях абонентским терминалам присваивают каналы спутником и подтверждают сообщения об обнаружении сигнала. К тому же они используются для выборочного блокировки обнаружения сигнала отдельными абонентскими терминалами, чтобы предотвратить перегрузку космического аппарата.

Каналы обнаружения сигнала – это каналы связи в линии «вверх» от абонентского терминала на КА для передачи сообщения об обнаружении сигнала. При этом по протоколу Aloha применяется принцип случайного множественного доступа с временным разделением. Из-за этого имеются большие допуски по радиочастоте и времени на погрешности обнаружения сигнала. Это связано с неопределенностью исходного выбора частоты. Каждый из абонентских терминалов абсолютно самостоятельно выбирает, какие каналы обнаружения сигнала будут рабочими после оценки радиовещательного канала.

Не менее важными являются абонентские каналы. Они предназначены для ответа необходимости потребителей в услугах связи. Именно эти услуги предоставляют абонентские терминалы. Система Iridium выделяет два вида абонентских каналов:

- каналы передачи сообщений;
- каналы трафика.

Первые из них предоставляют только услуги симплексной передачи сообщений между абонентскими терминалами. Эта услуга позволяет передавать короткие сообщения на другие абонентские терминалы и/или пейджеры Iridium.

Обработка вызовов в ССС Iridium включает в себя обнаружение сигнала, предоставление доступа, регистрации и/или автоматической регистрации, телефонии и переключения. [5]

Вывод раздела. За последние 60 лет произошел быстрый скачок технологий от отдельных линий спутниковой связи до глобальных систем. Это

связано, как и с ростом потребностей в ней, так и с развитием технологий. Хотя изначально ССС использовались в основном для телевидения, но современные потребности требуют ускорения развития и других направлений спутниковой связи, в том числе и интернет. Данная связь обеспечивается с помощью космического и наземного сегментов. В случае с Iridium, используется связь не только между спутниками и наземными станциями, но и межспутниковая связь, которая позволяет сократить количество наземных станций. Наземная инфраструктура включает в себя центры управления, наземные станции и система управления и контроля сети.

2 СИСТЕМЫ ПРИЁМА-ПЕРЕДАЧИ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

2.1 Принципы построения системы передачи телеметрической информации

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

В технической телеметрии различают телеметрические, радиотелеметрические и комбинированные системы. В первой передача информации осуществляется по проводам, а во второй – по радиоканалу. В комбинированных системах совмещены и те, и другие варианты передачи информации. Примером использования комбинированной системы является передача информации в космических пилотируемых аппаратах. Источниками сигналов могут быть, например, давление в кабине летчика, речь космонавтов или другие сигналы. От датчиков идут провода к регистрирующей аппаратуре (как телеметрическая система), а далее информация передается по радиоканалу на Землю при прохождении космического аппарата в зоне нахождения приемных устройств (как радиотелеметрическая система).

Телеметрия осуществляется средствами телемеханики. Телеметрическая система состоит из передающей части, канала связи и приемной части. На рисунке 2.1 представлена общая блок-схема телеметрической системы.

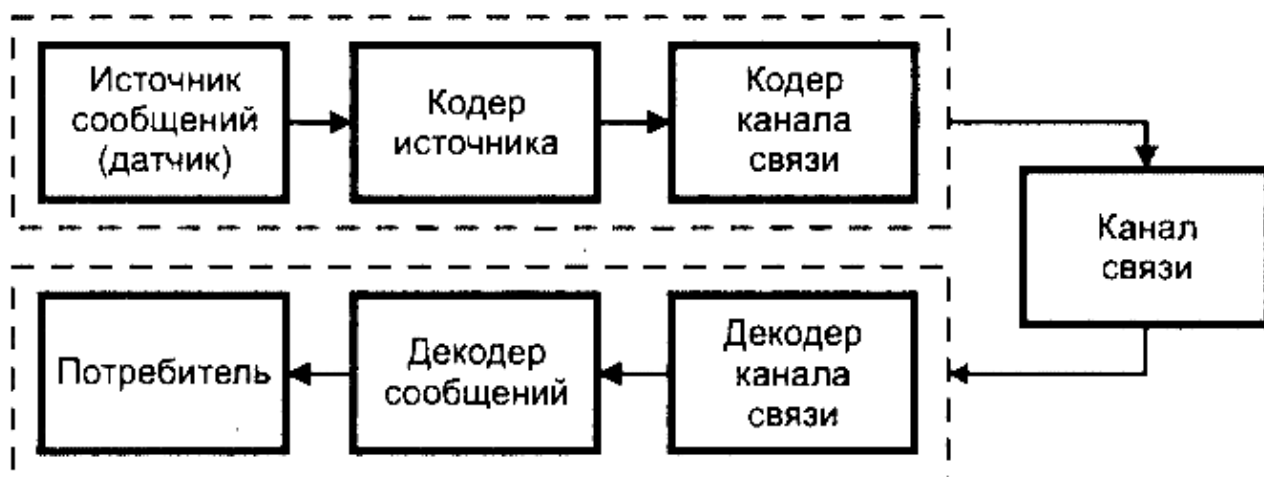


Рисунок 2.1 – Общая блок-схема телеметрической системы

В более подробном исполнении телеметрические установки включают в себя предусилители, усилители, модуляторы, калибраторы, генераторы поднесущей и несущей частот, антенные устройства разной конструкции, приемные устройства, а также разные типы регистраторов и средств обработки информации и т.д.

Классификация телеметрических систем осуществляется по разным

признакам: по назначению, габаритам, надежности, дальности действия, числу каналов, частоте излучения передатчика, методу модуляции, стоимости и др. Многие классификации по этим показателям является качественными.

По этому признаку телеметрические системы разделяется на 5 классов.

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

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

II класс. Объект исследования соединен проводом с передатчиком, которые находятся на каком-то носителе и взаимно неподвижны. Носитель перемещается относительно приемника. Такие системы называют транспортируемыми.

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

Они с успехом применяются при физиологических исследованиях спортсменов.

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

Такой принцип используется для изучения подвижных устройств.

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

По видам телеметрии они делятся на динамическую телеметрию и телеметрию покоя. По масштабу решаемых задач можно разделить на большую и малую телеметрию.

У телеметрических систем есть свои плюсы и минусы, представленные в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Достоинства и недостатки [6]

Достоинства	Недостатки
Автономность объекта (объект не привязан к стационарным стандам)	Дороговизна
Возможность получения уникальной и специфической информации	Отсутствие промышленных серийных разработок
Получение более достоверной информации	Повышенные габариты
Возможность передачи информации из труднодоступных зон	Необходимость подготовленных специалистов (персонала) для разработки и обслуживания установки
Возможность передачи информации при физических нагрузках в динамике	Ограниченная продолжительность непрерывной работы

Системы передачи телеметрической информации объединяют бортовую и

наземную телеметрические системы. Бортовая телеметрическая система обеспечивает сбор информации от различных служебных и научных датчиков, преобразует выходные сигналы этих датчиков в цифровую форму, обеспечивает хранение информации в период между сеансами связи и формирование единого цифрового потока двоичных данных.

Можно выделить три основных вида источника данных на космическом аппарате:

- системы космического аппарата (электропитание, ориентации, управления, двигательная установка и др.);
- низкоинформативные научные приборы;
- высокоинформативные научные приборы (ТВ камеры, оптико-механические сканеры и т.п.).

Эти источники информации, как правило, используют общую бортовую систему сбора, преобразования и хранения информации и единую радиолинию космический аппарат – Земля. На Земле с выхода телеметрической системы передачи информации сообщения поступают к разным потребителям. Данные о состоянии систем космического аппарата поступают в группу анализа ЦУП. Научная информация используется различными научными институтами. Информация от датчиков изображения используется как в интересах управления космический аппарат, так и в интересах науки. Характеристики телеметрической системы зависят от того, какие датчики информации она обслуживает.

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

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

Основные параметры телеметрических систем:

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

2.2 Наземный сегмент систем связи на примере системы Odyssey

Система Odyssey оказывает услуги глобальной радиотелефонной связи и некоторых видов персональной связи. Её космический сегмент включает в себя двенадцать спутников на средневысотных круговых орбитах с наклоном в пятьдесят градусов. Однако в этой системе спутники не несут значительной роли, а являются лишь ретрансляторами с преобразованием частоты. Спутниковая связь формируется через наземные узловые станции. При этом их значительно меньше благодаря высоким орбитам космических аппаратов. Это даёт возможность с одного КА иметь большую территорию покрытия.

Многолучевая связка антенной системы пользовательской линии связи на борту спутника включает в себя девятнадцать лучей. Антенная система каждого космического корабля имеет зону из шестидесяти одного узкого луча на поверхности земли. Они используются, как для отправки, так и для принятия. Главное отличие этой спутниковой системы заключается в статичном покрытии поверхности Земли этими лучами.

Для организации связи в системе Odyssey (рис. 2.2) на космических аппаратах находится простой ретранслятор с преобразованием радиочастоты. На самом спутнике данные не обрабатываются. Задержка сигнала в нем не превышает пяти миллисекунд. Маршрутизация и обработка сообщений идет на земных узловых станциях

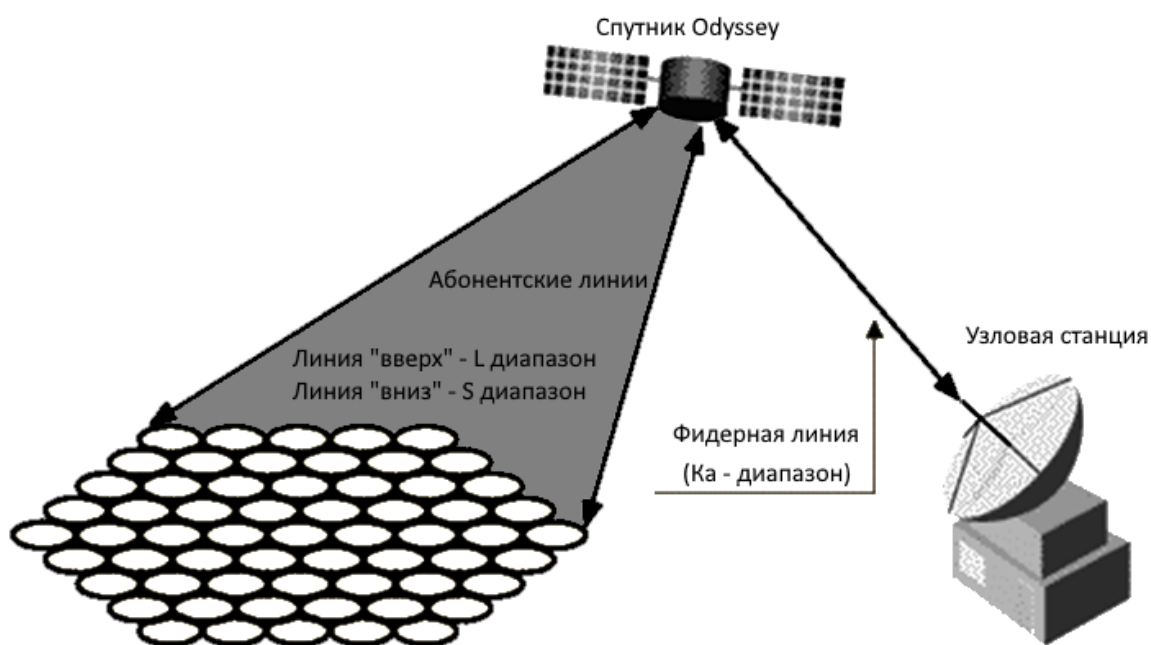


Рисунок 2.2 – Схема организации связи в системе Odyssey.

Два спутника, которые одновременно покрывают любой из регионов, позволяют обеспечивать цифровую радиотелефонную связь по шести тысячам

радиотелефонным каналам. Для стационарных пользователей емкость космического корабля составляет более десяти тысяч каналов, что соответствует 4,8 кбит/с (режим передачи данных 64 кбит/с). Линии электропередач, предоставляющие связь между КА и наземными станциями, работают в Ka-диапазоне.

Данные отправляются с применением широкополосных сигналов и многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA). Прием информации от абонентских терминалов производится в L-диапазоне (1610,0-1626,5 МГц), отправка на абонентский терминал - в S-диапазоне частот (2483,5-2500 МГц). Эквивалентная изотропная мощность излучения для канала "спутник-Земля" составляет 24,2 дБ/Вт. В радиолиниях L- и S-диапазонов используется круговая поляризация.

Система спутниковой связи Odyssey предназначена для организации радиотелефонной связи, передачи данных и коротких сообщений о местоположении подвижных объектов. Наземный сегмент Odyssey включает в себя узловые (базовые) станции и терминалы. Двухрежимный радиотелефонный терминал обеспечивает работу в сетях стандарта GSM, TDMA, CDMA, PHS. Он позволяет работать не только в системе Odyssey, но и в наземных сотовых сетях, причем доступ к наземной сотовой сети является приоритетным.

Связь организована таким образом, что после определения свободных частот вызов всегда направляется в адрес базовой станции сотовой сети. В случае невозможности соединения с базовой станцией (вызов заблокирован или все частоты заняты) терминал отправляет запрос на спутник. При запросе спутникового канала абоненту назначается пара частот (каналы «вверх» и «вниз») в одном из девятнадцати лучей.

Передача речи происходит со скоростью 4,2 кбит/с и с незначительной вероятностью ошибки в речевом канале. Также терминал Odyssey позволяет принимать сообщения персонального радиовызова с буквенно-цифровой индикацией, обеспечивать работу электронной почты, а также определять точное положения абонента. Скорость передачи данных составляет 2,4—64 кбит/с.

Определение координат производится по собственным сигналам системы Odyssey. В связи с относительно большим (для средневысотной орбитальной группировки) числом спутников в любой точке обслуживаемой территории можно наблюдать «созвездие» из двух или трех спутников, находящихся под большими углами видимости. Это делает возможным установление местоположения объекта только по сигналам КА Odyssey. Погрешность определения местоположения — не более 15 км.

В системе Odyssey при подключении мобильных пользователей к телефонной сети общего пользования задержка сигнала, которая складывается из задержки спутникового канала (84 мс) и задержки наземного тракта (20 мс), обеспечивает качественную передачу речевых сообщений.

Весь трафик передается через узловые станции, которые связаны между собой многоканальными линиями связи. Их характеристики указаны в таблице 2.2. Узловая связь отвечает не только за прием/отправку трафика, но и

предоставляет связь с телефонной сетью общего пользования, организует межлучевую коммутацию, а также принимает и обрабатывает телеметрию с КА.

Таблица 2.2 – Основные характеристики узловых станций [7]

Показатель	Направление связи	
	Прием	Передача
Диапазон частот, ГГц	29,1-29,4	19,3-19,6
Общая ширина полосы, МГц	300	300
Ширина полосы канала, МГц	2,5	2,5
Вид поляризации	RHCP	LHCP
Коэффициент усиления антенны, дБи	64,8	60,8
Ширина луча по уровню 3 дБ, 0	2,2	0,17
Шумовая температура приемника, ОК	666,5	-
Эквивалентная изотропная мощность излучения, дБ/Вт	-	85,9

2.3 Бортовые радиокомплексы малых космических аппаратов

Запуск каждого нового космического аппарата является началом лётно-конструкторских испытаний, так как практически все космические аппараты отличаются друг от друга по решаемым задачам и, следовательно, имеют отличие в системах космического аппарата и укомплектованы разными научными приборами.

Основными отличительными признаками системы передачи служебной телеметрической информации являются:

- большая избыточность передаваемых сообщений;
- невысокая точность измерения параметров;
- большое число измеряемых параметров;
- необходимость передачи данных в аварийном состоянии космического аппарата (потеря ориентации, снижение мощности передатчика и др.).

Требования минимизации массы и энергопотребления бортовой аппаратуры приводит к необходимости создания единой бортовой телеметрической системы, которая передаёт сообщение как от датчиков состояния систем космического аппарата (служебная телеметрия), так и от научных датчиков (научная телеметрия). Телеметрическая информация передаётся кадрами. Обычно каждый кадр состоит из 128 8-ми разрядных слов, в начале каждого кадра передаётся синхропосылка (СП), как правило состоящая из четырех слов. Первое слово после СП несёт в себе значение номера телеметрического кадра, в которую входит номер цифрового массива (ЦМ), передаваемого в структуре телеметрического кадра. [6]

Порядок следования информационных слов в телеметрическом кадре однозначно определяется номером кадра. В ЦМ в четырёх старших разрядах пятого слово записывается “0”, шестое и седьмое слова в кадре несут

информацию о бортовом времени (БВ) от 0 до 59 минут. Шесть старших разрядов шестого слова могут принимать значения от 0 до 59 минут с временным промежутком в одну минуту. Два младших разряда шестого слова и четыре старших разряда седьмого слова могут принимать значения от 0 до 59 с временным промежутком в одну секунду. Четыре младших разряда седьмого слова могут принимать значения от 0 до 15 с временным промежутком в 62,5 мс. С восьмого по сто двадцать седьмое слово передаётся телеметрическая информация. Последнее слово в кадре – контрольная сумма. Она получается суммированием двухзначных слов всего кадра с учётом СП без переноса бита переполнения восьми-разрядной сетки. Телеметрическая информация передаётся как кодом при малых скоростях передачи, так и после кодирования свёрточным кодом (СК) с длиной кодового ограничения $K=6$ и кодовой скоростью $R=1/2$.

При выборе перспективных методов кодирования телеметрической информации рассматриваются несколько возможных кодов:

- каскадный код, состоящий из свёрточного кода $K=6$, $R=1/2$ и расширенного кода Боуза-Чоудхари-Хеквенгейма (64;51; $t=2$);
- свёрточный код с $K=9$, $R=1/3$. Требуемое отношение сигнал-шум на бит информации для обеспечения вероятности ошибки 10^{-5} соответственно составляет 2,2 и 1,9.

Потери при демодуляции и синхронизации кодовых символов реально не должны превышать 1 дБ. Для рекомендации одного из рассматриваемых методов кодирования учтём следующие соображения:

- наиболее помехоустойчивый из этих кодов – свёрточный с $K=9$, $R=1,3$ – пригоден в основном для программной реализации. Сложность аппаратной реализации примерно в 8 раз больше, чем для свёрточного кода с $K=6$, $R=1,2$;
- каскадный код приводит к утроению – учетверению сложности кодирующего устройства. Сложность декодирующего устройства увеличивается незначительно. Учитывая, что энергетический выигрыш, на который разменивается сложность, составляет 1 дБ, следует иметь убедительные причины для его применения.

Бортовой комплекс телеметрической системы (см. рис. 12) обеспечивает следующие режимы работы:

- передачу в реальном времени в сеансе связи;
- запоминание информации между сеансами связи;
- передачу одной части информации в реальном времени и одновременное запоминание другой части информации.

Сигналы от датчиков поступают на входы коммутаторов. Программа опроса датчиков находится в памяти устройства хранения и формирования. Аналоговые сигналы проходят через аналогово-цифровой преобразователь и в устройстве формирования кадра объединяются в единый цифровой поток, который в реальном времени передаётся через радиолинию, в режиме запоминания поступает старт-стопное запоминающее устройство. Все необходимые синхросигналы бортовой комплекс получает от программно-

временной системы. Обработку цифровых сообщений и управление режимами работы системы выполняет ЭВМ, входящая в состав телеметрической системы. Бортовой комплекс способен обрабатывать не только данные отдельных датчиков, но и цифровые массивы, при этом поступающий на вход радиолинии цифровой массив разделяется на стандартные кадры по 1024 бита. В каждом кадре имеется СП. В сеансе связи телеметрическая информация, сначала передаётся в режиме воспроизведения с ПЗУ, а затем реального времени. Типовой сеанс связи продолжается около 30 минут. При необходимости передачи большого объёма данных сеанс может продолжаться до нескольких часов в зависимости от возможности системы электропитания космического аппарата.

Для малых КА можно использовать бортовой комплекс управления (БКУ) на основе сетевых технологий и такой инфраструктуры передачи данных, которая позволяет легко дублировать основные компоненты сети, иметь несколько альтернативных путей передачи данных, масштабировать или модифицировать сеть под имеющееся оборудование на борту КА.

Наиболее перспективной сетевой технологией является сеть, выполненная на основе стандарта SpaceWire (ECSS-E-50-12C) Европейского космического агентства, разработанного специально для применения в управляющих сетях на борту КА [8]. Причины выбора SpaceWire для построения БКУ на основе сетевых технологий, следующие:

- открытость технологии, что обеспечивает неограниченность при выборе того или иного сегмента будущей сети;
- масштабируемость технологии, добавление/удаление из системы составной части не приводит к доработке или переработке всей системы;
- высокая пропускная способность, что дает возможность применять технологию для обеспечения обмена с целевой аппаратурой, формирующей большие объемы данных;
- поддержка большого числа абонентов сети для применения на больших аппаратах;
- наличие элементной базы космического применения. [9]

Выводы раздела.

Системы передачи телеметрической информации объединяют бортовую и наземную телеметрические системы. А также радиолинию космический аппарат – Земля. Бортовая телеметрическая система обеспечивает сбор информации от различных служебных и научных датчиков, преобразует выходные сигналы этих датчиков в цифровую форму, обеспечивает хранение информации в период между сеансами связи и формирование единого цифрового потока двоичных данных.

В случае с системой Odyssey ответственность за прием и отправку данных лежит только на наземных узловых станциях, ведь спутники представляют собой только ретрансляторы, изменяющие частоту сигнала. Это позволяет уменьшить размеры КА. На текущий момент ведутся множество работ, связанных с

разработкой более удобных БКУ для использования на малых КА за счет уменьшения их габаритов и массы.

3 РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛИНИИ СВЯЗИ

Связь между КА и земными станциями происходит в двух направлениях. Связь от Земли в сторону спутника принято считать направлением «вверх», а в обратную сторону – направлением «вниз». При этом оба направления имеют проблемы с энергией. В первом случае к этому приводят упрощение наземных станций и уменьшение мощности передатчиков, во втором случае к этому приводят лимиты на размеры и массу, что приводит к снижению энергопотребления бортового ретранслятора и его мощности.

Главная характерная черта спутниковых линий – это значительные потери сигнала, связанные с затуханием его энергии на больших расстояниях. Так, при высоте орбиты КА в тридцать шесть тысяч километров затухание сигнала порой доходит до двухсот децибел. Но это не единственная причина затухания сигнала. К этому приводят фарадеевское вращение плоскости поляризации, поглощение в атмосфере, рефракция, деполяризация и другие. При этом причины затухания сигнала есть и у принимающего устройства. Космическое излучение является главной причиной шумов при приёме сигнала. Учет воздействия абсолютно всех этих причин дает возможность обеспечить стабильную эксплуатацию, при этом не увеличив расходов энергии или не усложнив оборудование.

3.1 Энергетический расчёт линии «вниз»

Исходные данные: диапазон частот $14\uparrow/11\downarrow$ ГГц.

Параметры передающей космической станции:

- координата – 103° восточной долготы;
- коэффициент усиления антенны (передача) – 28 дБ;
- КПД АФТ КС – 0,8.

Параметры приемной земной станции:

- координаты – 35° восточной долготы, 60° северной широты;
- диаметр антенны 3 м;
- отношение $R_c/R_{ш}$ на приеме 16 дБ (40 раза);
- коэффициент шума приемника – 7 дБ;
- эффективная полоса частот – 36 МГц;
- КПД АФТ ЗС – 0,9;
- шумовая температура антенны 60 К.

Расстояние между передающей (КС) и приемной (ЗС) антеннами:

$$d_{\downarrow} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(\psi)}, \quad (3.1)$$

где $\cos(\psi) = \cos(\xi_{ЗС}) \cdot \cos(\beta)$; $\xi_{ЗС}$ – широта земной станции;

$\beta = \beta_{КС} - \beta_{ЗС}$ – разность долгот между земной и космической станциями.

Тогда получим:

$$\beta = \beta_{KC} - \beta_{3C} = 103^{\circ} - 35^{\circ} = 68^{\circ} \quad (3.2)$$

$$\cos(\psi) = \cos(60^{\circ}) \cdot \cos(68^{\circ}) = 0,1875 \quad (3.3)$$

$$d_{\downarrow} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,1875} = 41445,93154 \text{ км} \quad (3.4)$$

Ослабление сигнала определяется следующим образом:

$$L_0 = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2}, \quad (3.5)$$

где d – это расстояние между КС и ЗС; $\lambda_{\downarrow} = \frac{c}{f_{\downarrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{11 \cdot 10^9} = 0,0273 \text{ м}$ – длина волны. Отсюда получим следующее значение:

$$L_{0\downarrow} = \frac{16 \cdot 3,14^2 \cdot (41445,93154 \cdot 10^3)^2}{0,0273^2} = 3,636 \cdot 10^{20} \text{ раз} = 205 \text{ дБ} \quad (3.6)$$

Дополнительное ослабление на трассе с учетом поглощения в атмосфере (осадки) L_A , потерь из-за несогласованности поляризации антенн L_{Π} и потерь из-за рефракции L_P :

$$L_{\text{ДОП}} = L_A + L_{\Pi} + L_P = 0,8 + 0,9 + 0,2 = 1,9 \text{ дБ}, \quad (3.7)$$

Суммарная шумовая температура приемного тракта:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot \frac{1-\eta}{\eta} + \frac{T_{\text{Ш}}}{\eta}, \quad (3.8)$$

где $T_A = 60 \text{ К}$ – шумовая температура приемной антенны; $T_0 \approx 290 \text{ К}$; $T_{\text{Ш}} = (K_{\text{Ш}} - 1) \cdot T_0$ – собственная шумовая температура приемника.

$$T_{\Sigma} = 60 + 290 \cdot \frac{(1-0,9)}{0,9} + \frac{(6-1) \cdot 290}{0,9} = 1703,33 \text{ К}. \quad (3.9)$$

Коэффициент усиления антенны земной станции определяется по формуле:

$$G_{3C} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2} = \frac{10 \cdot 0,8 \cdot 3^2}{0,0273^2} = 96606,7, \quad (3.10)$$

где g – коэффициент использования поверхности антенны (0,6...0,8); D_A – диаметр антенны ЗС. Что составляет 49,85 дБ.

Мощность передатчика КС вычисляется по следующей формуле:

$$P_{\text{ПРД(КС)}} = \frac{L_{0\downarrow} \cdot L_{\text{ДОП}} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}} \cdot b \cdot \left(\frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{Ш}}}\right)_{\Sigma}}{G_{\text{ПРД}} \cdot G_{\text{ПРМ}} \cdot \eta_{\text{ПРД}} \cdot \eta_{\text{ПРМ}}}, \quad (3.11)$$

где $\Delta f_{\text{ш}}$ – шумовая полоса приемника; $b = 1.2$ дБ (1.3183) – коэффициент запаса для линии «вниз».

Коэффициент усиления антенны передатчика (КС) равен 28 дБ ($10^{\frac{28}{10}} = 631$ раз), КПД АФТ для приемной земной станции и космической станции составляет 0,9. Тогда подставив эти данные в формулу (3.11) данные, получим:

$$P_{\text{ПРД(КС)}} = \frac{(3.636 \cdot 10^{20}) \cdot 1.5488 \cdot (1.5488 \cdot 10^{-23}) \cdot 1703.33 \cdot (36 \cdot 10^6) \cdot 1.3183 \cdot 40}{631 \cdot 96606.7 \cdot 0.9 \cdot 0.8} = 642.6 \text{ Вт}$$

Тогда определим суммарную мощность шумов на входе приемника:

$$P_{\text{ш}} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}} = 0.85 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \quad (3.12)$$

3.2 Энергетический расчёт линии «вверх»

Исходные данные: диапазон частот 14↑/11↓ ГГц.

Параметры передающей земной станции:

- координата – 78° восточной долготы, 42° северной широты;
- диаметр антенны 3 м;
- отношение $P_{\text{С}}/P_{\text{Ш}}$ на приеме 16 дБ (40 раза);
- КПД АФТ ЗС – 0,95.

Параметры приемной космической станции:

- координаты – 103° восточной долготы;
- коэффициент усиления – 33 дБ;
- коэффициент шума приемника – 8 дБ;
- эффективная полоса частот – 36 МГц;
- КПД АФТ КС – 0,8.

Расстояние между передающей (ЗС) и приемной (КС) антеннами определяется по формуле (3.1):

$$\beta = \beta_{\text{КС}} - \beta_{\text{ЗС}} = 103^{\circ} - 78^{\circ} = 25^{\circ}, \quad (3.13)$$

$$\cos(\psi) = \cos(42^{\circ}) \cdot \cos(25^{\circ}) = 0.673 \quad (3.14)$$

$$d_{\uparrow} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0.2954 \cdot 0.673} = 38170.55 \text{ км}. \quad (3.15)$$

Ослабление сигнала рассчитывается по формуле (3.6):

$$\lambda_{\uparrow} = \frac{c}{f_{\uparrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{14 \cdot 10^9} = 0.0214 \text{ м}, \quad (3.16)$$

$$L_{0\uparrow} = \frac{16 \cdot 3.14^2 \cdot (38170.55 \cdot 10^3)^2}{0.0214^2} = 5.02 \cdot 10^{20} \text{ раз (207 дБ)}. \quad (3.17)$$

Дополнительное ослабление на трассе, учитывающих поглощение в атмосфере (осадки) L_A , потери из-за несогласованности поляризации антенн L_{Π} и потери из-за рефракции L_P , рассчитывается по формуле (3.7).

$$L_{\text{ДОП}} = 0.8 + 0.9 + 0.2 = 1.9 \text{ дБ (1.5488 раз)}. \quad (3.18)$$

Суммарная шумовая температура приемного тракта рассчитывается по формуле (3.8):

$$T_{\text{Ш}} = (8 - 1) \cdot 290 = 2030 \text{ К}, \quad (3.19)$$

$$T_{\Sigma} = 40 + 290 \cdot \frac{(1-0.8)}{0.8} + \frac{2030}{0.8} = 2650 \text{ К}. \quad (3.20)$$

Коэффициент усиления антенны ЗС определяется по формуле (3.10).

$$G_{\text{ЗС}} = \frac{10 \cdot 0.8 \cdot 3^2}{0.0214^2} = 157219 \text{ (52 дБ)}. \quad (3.21)$$

Коэффициент усиления антенны приемника равен 33 дБ ($10^{\frac{33}{10}} = 1995$ раз), КПД АФТ для передающей ЗС равен 0.8.

Мощность передатчика ЗС:

$$P_{\text{ПРД(ЗС)}} = \frac{L_{0\uparrow} \cdot L_{\text{ДОП}} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш.КС}} \cdot a \cdot \left(\frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{Ш}}}\right)_{\Sigma}}{G_{\text{ПРД}} \cdot G_{\text{ПРМ}} \cdot \eta_{\text{ПРД}} \cdot \eta_{\text{ПРМ}}} = 683.8 \text{ Вт}, \quad (3.22)$$

где $a = 6$ дБ (3.9811) – коэффициент запаса для линии «вверх».

Суммарная мощность шумов на входе приемника определяется по формуле (3.12):

$$P_{\text{ш}} = (1,38 \cdot 10^{-23}) \cdot 2650 \cdot (36 \cdot 10^6) = 1.31 \cdot 10^{-12}. \quad (3.23)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного дипломного проекта поставленная цель была выполнена успешно. Был сделан обзор роли и место общей инфраструктуры систем спутниковой связи, описана структура передачи данных на примере систем Iridium и наземный сегмент систем связи на средневысотных орбитах в системах Odyssey. Представлены принципы построения системы передачи телеметрической информации, а также бортовые радиокомплексы для малых космических аппаратов.

С каждым годом все больше растет роль ССС, что связано, как и с ростом потребностей в ней, так и с развитием технологий. Хотя изначально ССС использовались в основном для телевидения, но современные потребности требуют ускорения развития и других направлений спутниковой связи, в том числе и интернет.

Также стали чаще использоваться и малые орбиты для спутников. К примеру в системах Iridium и Odyssey. Данные системы имеют разный подход и принципы работы. Также продолжается техническое развитие систем передачи и бортовые радиокомплексы, что позволяет чаще использовать малые космические аппараты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кларк А. Extra-Terrestrial Relays. *Wireless World* 1945 – 305-308 сс.
2. Победоносцев Ю.А. Триумф советской науки // *Наука и жизнь*. № 11. 1957 – 8 -10 сс.
3. Анаров М.Ж., Утеулиев Н.Б., Сеитов Б.А., Мурзалиев А.Т., and Беккулов Р.Н.. "Системы спутниковой связи" Решетневские чтения, том 1, № 17, 2013 – 161-163 сс.
4. Макаренко С.И. Описательная модель системы спутниковой связи Iridium. Системы управления, связи и безопасности, (4), 2018 – 1-34 сс.
5. Григорьев, М. Н. Логистика : учебник для бакалавров / М. Н. Григорьев. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019 – 836 с.
6. Гаранин М.В., В.И. Журавлев, С.В. Кунечин. Системы и сети передачи информации. М.: Радио и связь, 2001 – 336 с.
7. Невдяев Л. Одиссея на средних высотах *Network World*, №2, 1998.
8. Непомнящий О.В., Вейсов Е.А., Правитель А.С. Однокристалльные системы с динамической реконфигурацией в радиоэлектронной аппаратуре специального назначения // *Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника*. № 5.2014 – 25–29 сс.
9. Непомнящий О. В., Постников А. И., Горева В. В., Варочкин С. С. Архитектура бортового комплекса управления для малых космических аппаратов на основе сетевых технологий. *Космические аппараты и технологии*, (1 (19)), 2017 – 22-29.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БКУ	бортовой комплекс управления
БМ	бортовое время
ЗС	земная станция
ИСЗ	искусственный спутник Земли
КА	космический аппарат
МДВР	множественный доступ с временным разделением
МДЧР	множественный доступ с частотным разделением
СК	свёрточный код
СП	синхропосылка
ССС	система спутниковой связи
ЦМ	цифровой массив
GEO	геостационарная орбита
LEO	средневысокая орбита
MEO	маловысотная орбита
NEO	эллиптическая спутниковая орбита

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Медеуовой Нургуль Даулетбеккызы

5B074600 – Космическая техника и технологии

«Устройства приема-передачи космических данных на наземные комплексы»

В дипломной работе Медеуовой Нургуль представлен краткий обзор о роли и месте общей инфраструктуры систем спутниковой связи, состав и структура передачи данных на примере систем Iridium, Изучены основные принципы построения систем передачи телеметрической информации, а также бортовые радиокомплексы для малых космических аппаратов. Также был проведен краткий литературный обзор по наземному сегменту систем связи на средневысотных орбитах в системах КА Odyssey.

Были проведены расчеты энергетического потенциала линии связи. Обнаружено, что полученные результаты могут быть использованы для оценки возможности по обеспечению стабильной эксплуатации, при этом не увеличив расходов энергии или не усложнив оборудование.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ

Дипломная работа выполнена на оценку /В-/«хорошо», а студент, Медеуова Нургуль Даулетбеккызы достойна степени бакалавра специальности 5B074600-Космическая техника и технологии.

Рецензент

PhD, зав.кафедры «КИ».

Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева


Төлендіұлы Санат
« 27 » 2022 г.



**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Медеуова Нургуль Далетбекқызы
(Ф.И.О. обуча)

5B074600 – Космическая техника и технологии
(шифр и наименование специальности)

Тема: **«Устройства приема-передачи космических данных на наземные комплексы»**

В настоящей дипломной работе рассмотрены инфраструктуры систем спутниковой связи, описана структура передачи данных на примере систем Iridium и наземный сегмент систем связи на средневысотных орбитах в системах Odyssey. Представлены принципы построения системы передачи телеметрической информации, а также бортовые радиокomплексы для малых космических аппаратов.

В расчетной части диплома представлена методика расчета энергетического потенциала линии спутниковой связи.

Все поставленные задачи в ТЗ дипломником выполнены в полном объеме и при этом Медеуова Нургуль показала себя трудолюбивым и ответственным студентом.

Дипломная работа **Медеуова Нургуль** оценивается на 85 баллов и автор заслуживает академической степени бакалавр техники и технологий по ОП «Космическая техника и технологий».

Научный руководитель

К.т.н., ассоциированный профессор

(должность, уч. степень, звание)



Таштай Е.

(подпись)

« 27 » мая 2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Медеуова Нургуль Даулетбекқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Устройства приема-передачи космических данных на наземные комплексы

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 2.3

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2022-05-27

Дата

Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Медеуова Нургуль Даулетбеккызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Устройства приема-передачи космических данных на наземные комплексы

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 2.3

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2022-05-27

Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Медеуова Нургуль Даулетбекқызы

Тақырыбы: Устройства приема-передачи космических данных на наземные комплексы

Жетекшісі: Ерлан Таштай

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 1.1

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келес шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2022-05-27

Күні

Кафедра меңгерушісі

