

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

Куанғали Диас Нұрланұлы

«Проектирование систем связи с зонным обслуживанием»

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**

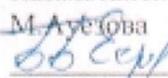
Заведующий кафедрой  
«Электроники,  
телекоммуникации и  
космических технологий»

 Таигтай Е.  
« 20 » 05 2022 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Проектирование систем связи с зонным  
обслуживанием»

по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнил   
Рецензент  
Д.т.н., профессор в Южно-  
Казахстанского университета имени  
М.Ауэтова  
 Б.Есмагамбетов  
« 3 » 05 2022 ж.

Куангали Диас Нұрланұлы  
Научный руководитель  
Лектор кафедры ЭТиКТ,  
м.т.н.,  
КазННТУ им. К.И.Сатпаева  
 А.Боранбаева  
« 27 » 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космическая технологий»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
«Электроники, телекоммуникации и  
космической технологий»

 Таштай Е.  
«21» XII 2022 г

**ЗАДАНИЕ**  
на выполнение дипломной работы

Дипломнику: Куанғали Диас Нұрланұлы

Тема: «Проектирование систем связи с зонным обслуживанием»

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.РК площадь  $2.6 \cdot 10^5 \text{ км}^2$  2.Частотные диапазоны Ku(10,70-14,80) 3.Ka(15,40-26,50 и 27,00-30,20). 4.Геостационарные спутники связи с зонным обслуживанием 5.Скорость передачи информации 200кбит/с, 1Мбит/с, 10Мбит/с, моделирование на программе Mathcad.

Перечень вопросов подлежащих изучить и представить в дипломной работе:

А) Описание теоретической основы систем спутниковой связи с зонным обслуживанием

Б) Описание и расчет антенн в системе спутниковой связи

В) Энергетические расчеты

Перечень графического материала: - Расчеты будут осуществляться на Mathcad. Сравнение затухания, 3D-модель проектируемой МЛА, Фазированная антенная решетка, ДН антенной решетки, Графики сравнения мощности передатчиков в Ka- и Ku-диапазонах.

Рекомендуемая основная литература:

1 Ю. А. Бутузов, Е. В. Ползик. Системы спутниковой связи// Учебное пособие- Алматы 2007. 102 стр.

2 Журнал "Технологии и средства связи" №1, 2012. Перспективы развития спутниковой связи на основе геостационарных спутников.

3 Cellular Communications Using Aerial Platforms.//IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 50, NO. 3, MAY 2001.

4 Учебно-методическое пособие к выполнению практической работы «Расчёт естественного и искусственного освещения производственных помещений» .- Уфа: 2010-32с.

5 Кантор Л.Я. Оценка частотно-орбитального ресурса, занимаемого сетями ФСС Ка диапазона. «Перспективы использования Ка-диапазона частот спутниковыми системами радиосвязи».

6 Слюсар В.И. Фазированная антенная решетка системы Thuraya // Сети и телекоммуникации - 2002, № 5, С. 54–58.

7 Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки в мобильной спутниковой связи // Первая миля - 2008, № 4, С. 10-15.

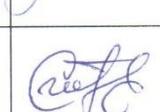
### ГРАФИК

#### подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Описание теоретической основы систем спутниковой связи с зонавым обслуживанием	1.09.2021-31.12.2021	вложено
2. Описание и расчет антенн в системе спутниковой связи	1.01.2022-30.01.2022	вложено
3. Проектирование и расчет ССС с зонавым обслуживанием	1.02.2022-15.02.2022	вложено
4. Энергетический расчет спутниковой связи	16.02.2022-31.03.2022	вложено
5. Написание дипломной работы	15.04.2022-30.04.2022	вложено

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретические основы систем спутниковой связи с зонавым обслуживанием	Боранбаева А.Т. м.т.н., лектор кафедры ЭТиКТ	24.05.22	
Описание технологий	Боранбаева А.Т. м.т.н., лектор кафедры ЭТиКТ	24.05.22	
Проектирование и расчет системы спутниковой связи с зонавым обслуживанием	Боранбаева А.Т. м.т.н., лектор кафедры ЭТиКТ	24.05.22.	
Нормоконтролер	Ибекеев С.Е. м.т.н., лектор кафедры ЭТиКТ	24.05.2022	

Научный руководитель

 Боранбаева А.Т.

Задание принял к исполнению обучающийся

Куанғали Д.Н.

« 28 » 12 2021 г.

## АННОТАЦИЯ

Дипломдық жұмыстың құрылымы кіріспеден, дипломдық жұмыс тақырыбы бойынша теориялық, практикалық перспективаларды және есептеулерді, қорытындыларды, әдебиеттер мен қосымшалар тізімін зерттеуге бағытталған үш бөлімнен тұрады. Дипломдық жұмыстың кіріспесінде мақсаты, міндеттері, өзектілігі көрсетілген. Сондай-ақ, кіріспеде зерттеу тақырыбының әдіснамалық негізі мен ғылыми жаңалығы, тақырыптың әзірлену дәрежесі, дипломдық жұмыстың практикалық маңыздылығы қамтылады. Дипломдық жұмыстың негізгі бөлігі аймақтық қызмет көрсетумен спутниктік байланыс жүйелерін зерттеуге және осы тақырып бойынша есептеулер жүргізуге арналған.

## **АННОТАЦИЯ**

Структура дипломной работы состоит из введения, трех частей, направленных на изучение теоретических, практических перспектив по теме дипломной работы и расчеты, заключения, списка литературы и приложений. Во введении дипломной работы представлены цель, задачи, актуальность. Также, введение содержит методологическую основу и научную новизну темы исследования, степень разработанности темы, практическую значимость дипломной работы. Основная часть дипломной работы посвящена изучению систем спутниковой связи с зонным обслуживанием и проведению расчетов по указанной теме.

## **ANNOTATION**

The structure of the thesis consists of an introduction, three parts aimed at studying theoretical and practical perspectives on the topic of the thesis and calculations, conclusions, a list of references and appendices. The introduction of the thesis presents the purpose, objectives, relevance. Also, the introduction contains the methodological basis and scientific novelty of the research topic, the degree of development of the topic, the practical significance of the thesis. The main part of the thesis is devoted to the study of satellite communication systems with zone maintenance and calculations on this topic.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Теоретические основы систем спутниковой связи с зоновым обслуживанием	11
1.1 Развитие систем спутниковой связи	11
1.2 Сущность систем спутниковой связи с зоновым обслуживанием	12
1.3 Виды орбит	17
2 Описание технологий	22
2.1 Антенны спутниковых систем радиосвязи	22
2.2 Особенности формирования антенных решеток	25
2.3 Используемые инновационные технологии	27
2.4 Зоны обслуживания спутниковых систем на территории РК	30
3 Проектирование и расчет системы спутниковой связи с зоновым обслуживанием	31
3.1 Проектирование системы спутниковой связи	34
3.2 Расчет скорости передачи информации 200кбит/с, 1Мбит/с, 10Мбит/с	37
Заключение	41
Список использованной литературы	42
Приложения	44

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день телекоммуникации являются неотъемлемой частью нашей жизни, так, спутниковая связь стала более актуальным вопросом исследования, чем двадцать пять лет назад. В современном мире людьми поглощается большой поток информации посредством электронных гаджетов на ежедневной основе. На основании этих изменений, организациям и государству важно иметь качественную систему спутниковой связи для решения вытекающих на фоне глобализации следующих проблем: необходимости развития телекоммуникаций, необходимости постоянной поддержки связи со всем миром, улучшения и развития промышленности, усилению военной промышленности и качественного информирования граждан.

Согласно отчету Intelsat, системы спутниковой связи делятся на земную станцию, спутник и наземное оборудование [1].

Таким образом, системы спутниковой связи - это оборудования, состоящие из наземных станций на Земле, ретрансляторов на орбите и космических аппаратов. Возросший интерес и развитие систем спутниковой связи являются неотъемлемой частью инфраструктуры телекоммуникаций, что обосновывает актуальность дипломной работы.

Основным качеством спутниковой связи по сравнению с другими видами связи, является глобальный охват и высокий коэффициент готовности соединяя людей из любой точки нашей планеты. Так, благодаря системам спутниковой связи для обычного населения открылись новые возможности. Так, человечеству открылась возможность получения и изучения погодных условий на неделю и месяцы вперед, сотовая связь, новостные репортажи, быстрый и качественный интернет, навигация (информация о пробках, примерное затрачиваемое время на дорогу), книги и многое другое.

В настоящее время, космическое пространство все еще не изучено. Каждый год ученые всего мира создают и совершенствуют уже созданные и имеющиеся системы спутниковых связей с помощью улучшения технических и эксплуатационных характеристик всех сегментов, повышения эффективности, гибкости, замены устаревших элементов и запчастей на более новые и совершенные. Также, наблюдается тенденция уменьшения космических аппаратов в размерах, что дает возможность уменьшить массу и сократить количество топлива, для выведения космического аппарата на орбиту. Уменьшая космические аппараты, учеными освобождается и место в ракетносителях, что дает нам новый вариант выведения на орбиту не одного, а сразу нескольких космических аппаратов за раз. Так, у каждой системы есть свои диапазоны частот для приема и передачи информации. В основном земные станции работают в диапазонах 4 или 11 ГГц на прием, 6 или 14 ГГц на передачу.

На самом деле, системы спутниковых связей с зоновым обслуживанием работают максимально просто и понятно. Данный вопрос можно рассмотреть на примере Казахстана. Ввиду того, что наша территория очень большая, в

Казахстане зоны делятся по областям. Эти зоны созданы для того, чтобы устанавливать соединения между абонентами из одной или из разных зон максимально быстро. Зоновое обслуживание также может делиться и на другие площади. К примеру, у Эстонии и Молдавии всего одна территориальная зона. Любому абоненту зоны присваивается семизначный номер, где последние пять чисел означают номер абонентской линии на местной телефонной сети, а первые два – номер местной телефонной сети в зоне. Максимальная емкость зоны составляет 8 миллионов номеров. Прямо сейчас можно сделать вывод, что спутниковая связь неизбежно заменит привычные мобильные и стационарные телефоны. Последние технологии спутниковой связи предлагают технически и экономически выгодные решения для развития всех услуг связи и телевидения. Спутниковые телефоны стали более удобными и надежными в использовании. Благодаря этому спутниковые телефоны стали более востребованными и доступными.

Целью дипломной работы является исследование и применение Ka-диапазонов в проектировании систем спутниковой связи с зонавым обслуживанием.

В представленной дипломной работе были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать работу систем спутниковой связи с зонавым обслуживанием;
2. Произвести расчет капитальных затрат по запуску спутника;
3. Анализ внедрения Ka-диапазона в Казахстане;
4. Описание антенных систем.

# 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ЗОНОВЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

## 1.1 Развитие систем спутниковой связи

Изначально, идею спутниковой связи выдвинул английский ученый Артур Кларк в британском журнале *Wireless World* в конце 1945 года [2]. Это была небольшая научная статья, посвященная теоретическим возможностям улучшения связи с помощью антенны, расположенной на максимальной высоте. Идея Артура Кларка заключалась в том, чтобы отправить на околоземную орбиту большую антенну-ретранслятор, принимающую сигналы от наземного источника. Так, она должна была передавать сигнал дальше. Главным преимуществом данной идеи от остальных идей по улучшению существующей связи, являлось огромная зона покрытия, которую мог контролировать один спутник. Таким образом, улучшилось бы качество сигнала, уменьшилось бы количество станций и наземных ретрансляторов. Забегая вперед, после развития данной сферы, Артур Кларк отказался делать патент и требовать хоть какие-то деньги, так как считал, что долг каждого ученого создавать, предлагать и стараться улучшить жизнь всего человечества абсолютно бесплатно.

Запуск первого спутника произошел в разгар «холодной войны» между СССР и США. Возможно, благодаря этому, в тот период было создано очень много новых идей, систем, а также, интересных инженерных решений. С 1957 года Советский Союз начал подготовительный период для запуска первого в мире искусственного спутника Земли. Но все же развитие спутниковых систем началось с первого запуска в космос космического аппарата «Эхо-1» в августе 1960 года. Форма «Эхо-1» была металлизированным шаром диаметром равным около 30,5 метрам. [Приложение А]

Первый геостационарный ретрансляционный спутник армии США *TKLSTAR* был выведен на орбиту в 1962 годах. В то же время военная спутниковая связь США была разработана под названием *Synchronous Communications Satellite (SYN-COM)*. НАСА, основанное в 1958 году, воплотило концепцию Кларка в жизнь, остановив в 1963 году 2 спутника *SYN-COM*. Запущенный в 1963 году *SYNCOM-3* стал прототипом первого гражданского коммерческого спутника связи *Intelsat-1*, который в 1964 году стал Международной организацией спутниковой связи (*Intelsat*), подписанной такими странами, как Соединенные Штаты, Великобритания, Франция, Германия, Япония, Канада, Бразилия и Италия. Задачей этой организации было производство и эксплуатация глобальной коммерческой спутниковой системы связи. В то время коммерческие услуги спутниковой связи еще не были достаточно развиты, чтобы быть доступными, но возможность производства и использования была экспериментально доказана. В 1965 году была создана первая спутниковая связь "Молния-1", осуществлялась передача телевизионных

программ, радиопередач, газетных полос, телефонная и телеграфная связь. Период с 1965 по 1973 год в истории спутниковой связи был самой развитой глобальной системой спутниковой связи.

С 1982 по 1990 год началось быстрое развитие и популяризация наземных терминалов. Благодаря либерализации и демонополизации телекоммуникационной отрасли и вытекающим из этого реформам в области технологий и технологий систем спутниковой связи, VSAT расшифровывается как Терминал с очень малой апертурой, представляет собой небольшой спутниковый терминал, его диаметр отличается от диапазона. VSAT состоит из 2 частей: антенны и приемопередающего устройства. Первоначально VSAT обеспечивал только передачу информации-данных, но позже были внедрены цифровая передача голоса и передача видео. Сеть VSAT позволила установить спутниковую наземную станцию рядом с пользователем, создав условия для комфортного и быстрого обмена информацией. Это также позволило разгрузить наземные сети общего пользования. С совершенствованием микропроцессорной техники, ростом и снижением энергопотребления стоимость многих компонентов только положительно сказалась на космической отрасли.

## **1.2 Сущность систем спутниковой связи с зонавым обслуживанием**

Спутниковая связь очень эффективна в организации вещания и связи, в том числе и доступа в интернет. До недавнего времени коммерческие спутниковые системы связи были доступны только среднему и крупному бизнесу. Таким образом, после появления Ka-диапазонов массовое обслуживание значительно расширил круг пользователей. Поэтому Ka-диапазон стал интересным вариантом для провайдеров спутниковых услуг.

### **1.2.1 Зоны покрытия**

Радиочастоты являются ограниченным ресурсом, и чтобы система не имела как можно меньше потерь, нужно, чтобы земные станции использовали одни и те же частоты. Осуществляется это двумя способами: пространственное разделение и поляризационное разделение. При пространственном разделении у каждого спутника, антенна принимает сигнал с определенных районов, разные районы могут использовать одни и те же частоты. При поляризационном разделении различные антенны спутников принимают и передают сигналы во взаимно перпендикулярных плоскостях поляризации, при этом частоты могут применяться два раза.

## 1.2.2 Применение спутниковой связи с зонавым обслуживанием

Главная задача системы спутниковой связи с зонавым обслуживанием это телефония. Так, телефонная сеть предназначена для осуществления телефонной связи. Телефонные сети делятся по функционалу и структурным признакам на местные, внутризонавые, зонавые, междугородные и международные. В состав зонавой связи входят местные и внутризонавые телефонные сети. Общую территорию разделяют на условные зоны, в каждой зоне имеется автоматическая междугородная телефонная станция(АМТС). Максимум в одной зоне может быть две АМТС. В случае, если в зоне только одна станция, то такую телефонную сеть называют нерайонированная. Если же их две, то районированные.

Самые популярные диапазоны частот систем спутниковых связей-С,Ку, Ка-диапазоны.

Таблица 1.1 - Диапазоны частот систем спутниковой связи

Наименование диапазона	Полоса частот в ГГц
L-диапазон	1,452-1.550 и 1.610-1710
S- диапазон	1,93-2,70
C- диапазон	3,40-5,25 и 5,725-7,075
X- диапазон	7,25-8,40
Ку- диапазон	10,70-14,80
Ка- диапазон	15,40-26,50 и 27-30,20

С и Ку диапазоны в основном применяются для передачи цифрового телевидения. Частоты из нижней части спектра в основном остаются без нагрузки. В основном более низкие частоты используются на подводных лодках и в связи внутри шахт. Ка-диапазоны начали использоваться намного чаще, обусловлено это двумя факторами. Первый: международные координации новых геостационарных спутников в Ку-диапазоне сложнее регистрировать. Второе: для снижения себестоимости передачи информации начали использовать более пропускную способность спутника. К тому же, для улучшения сигналов спутника, требуется переходить от Ку-диапазона к Ка-диапазону. Так, объем информации постоянно растет, из-за этого во всем мире появилась тенденция переходить к более мощному диапазону и увеличению пропускной способности. Ка-диапазон больше используется для высокоскоростного интернета, а не для спутникового телевидения. Также стоит отметить, что переход к Ка-диапазону обеспечивает более быструю передачу информации.

## 1.2.3 Модуляция и помехоустойчивое кодирование

Главная особенность спутниковых систем связи-это необходимость работать в условиях низкого отношения сигнал/шум, вызванного причинами:

1. Значительной удаленностью приемника от передатчика;

## 2. Ограниченной мощностью спутника.

Таким образом спутниковая связь недостаточно хороша для передачи аналоговых сигналов. Поэтому для передачи речи ее предварительно оцифровывают. Цифровые данные перед передачей по спутниковым каналам связи проходят преобразования в радиосигнал, принимающий назначенный частотный диапазон. Преобразование осуществляется благодаря модуляции, которая делится на фазовую и квадратурную амплитудную модуляцию.

Модуляции осуществляются на земных станциях, модулированный сигнал усиливается, затем переносится на нужную частоту и передается на антенну. После получения сигнала спутником, тот его усиливает, если потребуется регенерирует, после чего переносит на другую частоту и с помощью передающей антенны транслирует на землю.

### 1.2.4 Спутниковые ретрансляторы

Спутниковые ретрансляторы отражают радиосигналы между земными станциями и космическими аппаратами. В первое время использовались пассивные спутниковые ретрансляторы, но очень скоро их заменили активные ретрансляторы. Активные ретрансляторы оборудованы электронной аппаратурой для приема, обработки, усиления и ретрансляции сигнала. Современные ретрансляторы являются активными. Активные ретрансляторы делятся на регенеративные и нерегенеративные.

Регенеративные ретрансляторы-это то же самое что и цифровые, они перед повторной передачей демодулируют и восстанавливают цифровую информацию. А нерегенеративные ретрансляторы только усиливают и повторно передают сообщение. Так, нерегенеративные ретрансляторы можно использовать одновременно или последовательно без каких-либо коммутаций, а регенеративные ретрансляторы используются только с одним форматом модуляции. Рассмотрим работы ретрансляторов более подробно.

Так как регенеративные ретрансляторы работают только одним форматом модуляции, то анализ каналы «земля-спутник» и «спутник земля» рассматриваются отдельно. Для вычисления общей вероятности битовой ошибки в канале, нужно вычислить вероятность битовой ошибки в каждом канале связи. Если мы возьмем вероятность битовой ошибки «земля-спутник» как букву  $P_a$ , а вероятность битовой ошибки «спутник-земля» буквой  $P_b$ , бит будет передан безошибочно и если в обоих последовательных каналах бит будет передан либо точно либо с ошибкой, то общую вероятность точной передачи бита приравнивается:

$$P_c = (1 - P_a)(1 - P_b) + P_a P_b \quad (1.1)$$

Общая вероятность образования ошибочного бита

$$P_d = 1 - P_c = P_a + P_b - 2P_a P_b \quad (1.2)$$

Если  $P_a$  и  $P_b$  имеют маленькие значения, то можно использовать простое суммирование вероятностей появления ошибок

$$P_d \approx P_a + P_b \quad (1.3)$$

Что касается нерегенеративных ретрансляторов, использует совместную мощность канала «земля-спутник» каждым сигналом и шумом канала «спутник-земля». Но есть и минусы, возможности нерегенеративных ретрансляторов ограничены мощностью наземного конечного устройства, таким образом, канал «земля-спутник» является зависимым от канала «спутник-земля», в который отправляется шумы спутников и наземной оконечной станции, ширина полосы канала. Так, сигналы канала «земля-спутник» передается без обработок и изменений, если сигнал отсутствует, то на земле получают только шум. Коэффициент усиления передающей антенны спутника можно выразить по этой формуле:

$$EIRP_S = EIRP_S \beta [A_i P_i + (P_r - A_i P_i) + N_S W] \quad (1.4)$$

Общую мощность можно рассчитать следующим образом:

$$P_{rj} = EIRP_S \gamma_j \beta [A_i P_i + (P_r - A_i P_i) + N_S W] + N_g W \quad (1.5)$$

Известно, что  $\beta$  равна  $1/(P_r + N_S W)$ , перепишем уравнение (5) заменив  $\beta$ :

$$P_{rj} = EIRP_S \gamma_j \left( \frac{A_i P_i}{P_r + N_S W} + \frac{P_r - A_i P_i}{P_r + N_S W} + \frac{N_S W}{P_r + N_S W} \right) + N_g W \quad (1.6)$$

Пользователи нерегенеративного ретранслятора должны взаимодействовать не превышая уровни мощности передачи. Допустим, один из пользователей решил улучшить свой сигнал путем увеличения мощности, улучшение уровня сигнала этого пользователя произойдет в ущерб сигналов других пользователей. В этом уравнении можно заметить, что шум канала «земля-спутник» использует ресурс канала «спутник-земля» наравне с другими пользователями. Таким образом, это является отличительной особенностью нерегенеративных ретрансляторов. Из уравнения (1.6) отношение  $\frac{P_r}{N}$  сигнала, переданного передатчиком  $i$  и принятого терминалом  $j$ , равно следующему:

$$\frac{P_r}{N} = \frac{EIRP_S \gamma_j \left[ \frac{A_i P_i}{P_r + N_S W} \right]}{EIRP_S \gamma_j \left[ \frac{N_S W}{P_r + N_S W} \right] + N_g W} \quad (1.7)$$

Отношение  $\frac{P_r}{N_0}$  сигнала, переданного передатчиком I и принятого терминалом j равно следующему:

$$\frac{P_r}{N_0} = \frac{EIRP_S \gamma_j \beta A_i P_i}{EIRP_S \gamma_j \beta N_S + N_g} \quad (1.8)$$

Уравнения (1.6-1.8) показывают, как шум ретранслятора крадет мощность EIRP канала «спутник-земля» и вносит вклад в общий шум системы. Если же шум «земля-спутник» доминирует, то основная часть мощности EIRP «спутник-земля» будут бесполезными. В этом случае уравнение можно переписать следующим образом:

$$\frac{P_r}{N} \approx \frac{EIRP_S \gamma_j \left[ \frac{A_i P_i}{N_S W} \right]}{\frac{EIRP_S \gamma_j}{W} + N_g} \approx \frac{A_i P_i}{N_S} \quad (1.9)$$

Уравнение (1.9) показывает, что передачи сигнала каналом «земля-спутник», отношение  $\frac{P_r}{N_0}$  практически совпадает с SNR канала «земля-спутник». Более распространенной является передача, ограниченная каналом «спутник-земля». Таким образом, формулу можно переписать следующим образом:

$$\frac{P_r}{N} = \frac{EIRP_S \gamma_j A_i \frac{P_i}{P_r}}{N_g} \quad (1.10)$$

Затем мощность нерегенеративных ретрансляторов размещается между сигналами канала «земля-спутник», шумы данного канала передаются по каналу «спутник-земля». Не стоит забывать, что производительность ретранслятора ограничена параметрами канала «спутника-земля».

В большинстве спутниковых систем связи мощность ограничена, таки образом неэффективность, связанную с каскадами линейного усиления мощности, преодолеть обычно дорого. Таким образом, для спутниковых систем связи в основном используют ретрансляторы с нелинейными усилителями мощности. Их усиление мощности происходит за счет искажения сигнала, вызванного нелинейностью. Рассмотрим основные недостатки нелинейных усилителей:

Комбинационные помехи вызываются при взаимодействии различных несущих, полезная мощность может теряться переходя в энергию комбинационных помех, также в канал могут вноситься из вне мешающие комбинационные произведения;

Преобразования амплитудной модуляции в амплитудную модуляцию-это явление, обычное для нелинейных устройств. На входе устройства сигналы подвергаются нелинейному преобразованию и приводят к искажению амплитуда на выходе устройства;

Переход амплитудной модуляции в фазовую-это явление, обычное для нелинейных устройств. Отклонения сигнала приводят к колебаниям фазы, которые могут влиять на достоверность передачи при использовании любой схемы;

Чтобы избежать заметных комбинационных помех, нерегенеративные ретрансляторы обычно работают с режекцией из области высокого насыщения. Так, этот прием позволяет эффективно использовать всю полосу и доступную мощность системы. Но стоит помнить, что режекция в линейную область-это всего лишь компромисс.

### 1.3 Виды орбит

Всего существует четыре вида орбит для движения космических аппаратов, по названиям которым можно определить нахождение спутников в зависимости от угла между плоскостями орбиты и экватора Земли. Особенностью систем спутниковой связи является функционирование ретранслятора радиосигнала на искусственном спутнике Земли. Орбита которого достаточно высока и существующую достаточно долгое время без большой затраты энергии на поддержание движения вокруг нашей планеты по заданной орбите. Электрическое питание бортового ретранслятора и других систем спутника, расположенного на космических аппаратах осуществляются благодаря солнечной энергии, которую собирают солнечные батареи. На достаточно высокой орбите искусственного спутника Земли может обслуживать почти одну третью всех поверхности Земли, охватывая через бортовой ретранслятор все станции расположенные на территории видимости спутника. Так, для глобальной связи в таком случае потребовалось бы всего три спутника. Есть несколько орбит для искусственных спутников Земли: геостационарная, средневысотные, низкие круговые и эллиптические.

На орбитах центробежная сила и гравитационная сила равны друг другу. Гравитационную силу можно вычислить по формуле:

$$F_T = G * \frac{M_3 * m_c}{R^2} \quad (1.11)$$

где

$m_c$ -масса спутника;

$M_3$ -масса Земли в килограммах;

$G$ -гравитационная постоянная;

$R$ -радиус орбиты.

Центростремительное ускорение равно:

$$\alpha = \omega^2 * R \quad (1.12)$$

где

$\omega$ -угловая скорость вращения спутника, радиан на секунду;

$R$ -радиус орбиты.

Уравнивая эти выражения можно получить такую формулу:

$$\omega^2 * R * m_c = G * \frac{M_3 * m_c}{R^2} \quad (1.13)$$

### 1.3.1 Геостационарная орбита

Спутники на геостационарной орбите находятся на примерной высоте в 36000 километров и постоянно находятся над определенной точкой земной поверхности. Это достигается за счет того, что спутник движется по своей орбите с той же скоростью, равной скорости вращения Земли, таким образом постоянно находится над одной и той же точкой земной поверхности, расположенный на экваторе Земли. Таким образом, связь через такой спутник перерывов во времени не имеет. Основное достоинство-это непрерывная связь с терминалами почти на всей видимой спутником территорией поверхности земли. Орбитальный ресурс систем спутниковой связи на геостационарной орбите достаточно высок, срок службы приблизительно равен пятнадцати годам и теоретически может быть увеличен. Есть и недостатки, например при задержки сигнала в 270 мс распространение зонowego обслуживания не сказывается, но если суммарная задержка вместе с наземными сетями достигнет 350-400 мс, то будет затруднен процесс общения абонентов по телефону. Если же задержка сигнала будет выше, то задержка становится недопустимой и общая работа передачи сигналов ставится под угрозу. Однако достоинства систем связи на геостационарной орбите превышают недостатки, поэтому это одна из самых популярных орбит.

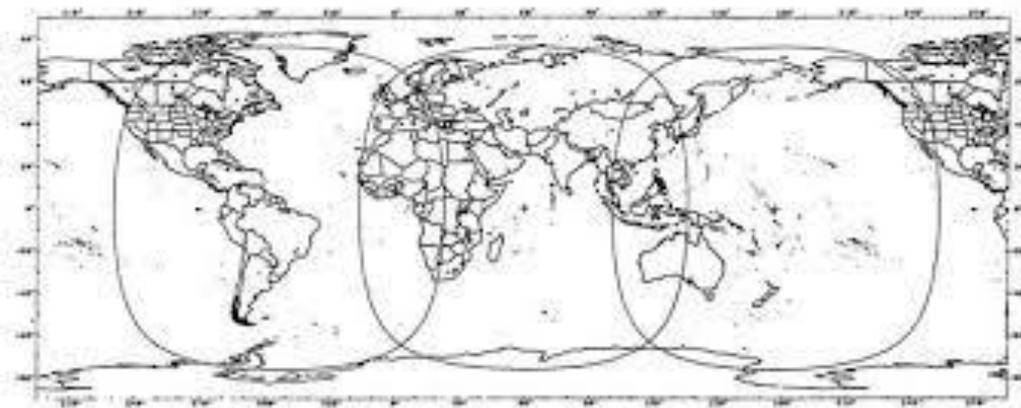


Рисунок 1.1 - Зона покрытия спутниками на ГСО

### **1.3.2 Средневысотная орбита**

По сравнению с геостационарной орбитой, системы спутниковой связи средневысотной орбите находятся на меньшем расстоянии от Земли. Находясь на средневысотной орбите, расстояние между земной станцией и искусственным спутником земли уменьшается, таким образом уменьшается энергетический ресурс радиолинии. Но из-за уменьшения расстояния, площадь покрытия космического аппарата соответственно уменьшится, эту проблему можно решить увеличив количество спутников. Единственное ограничение для применения средневысотной орбиты-это радиационные пояса Ван Алена. Радиационные пояса Ван Алена-это заряженные частицы, захваченные магнитным полем нашей Земли. Имеется два пояса: верхний и нижний. Нижний пояс простирается на высоте от 2000 до 9000 километров, а высокий пояс простирается от 13000 до 19000 километров. В основном искусственные спутники земли занимают диапазон высоты от 5000 до 15000 километров. Полная задержка времени распространения сигналов связи составляет не более 130мс, что позволяет использовать такие спутники для радиотелефонной связи. Срок службы таких спутников составляет от 12 до 15 лет.

### **1.3.3 Низкие круговые орбиты**

В низких круговых орбитах относительно экватора различают два вида орбит: полярные и наклонные. У полярных угол равен нулю, у наклонных угол может быть равен 90 градусам. Такие системы орбит используются уже более 30 лет для научно-исследовательских целей, дистанционного зондирования, навигации, метеорологических наблюдений, фотографирования и моделирования поверхности Земли. В энергетических параметрах у низкой орбиты нет конкурентов, но есть и недостатки. Такие орбиты проигрывают в продолжительности работы связи и времени активного существования искусственного спутника земли. Примерно тридцать процентов времени спутники находятся на теневой стороне Земли. Высота таких орбит не превышает 2000 километров, а минимальная высота равна 500 километрам и это не случайно. При высоте менее 500 километров плотность атмосферы высока и имеется повышенное сопротивление воздуха, вызывающую постепенное снижение высоты орбиты. Чем меньше высота орбиты, тем больше трата топлива для увеличения высоты.

### **1.3.4 Эллиптические орбиты**

Эллиптические орбиты составляют собой период обращения искусственных спутников земли(сократить до ИСЗ) и эксцентриситет эллипса орбиты. Так как спутник находится на большой высоте, может обеспечивать непрерывную связь в течении длительного времени. Таким образом, чем выше расстояние то Земли, тем меньше скорость спутника. Высота

высокоэллиптической орбиты может быть больше 20000 километров, апогеем же примерно 50000 километров и периодом обращения 24 часа.

Таблица 1.2 - Сравнение эллиптической орбиты

Достоинства ЭО	Недостатки ЭО
Зона видимости северного полушария лучше	Антенны на земле должна постоянно отслеживать движения спутника по орбите
Возможность размещения нескольких десятков независимых сетей связи	На земных станциях должна применяться слабонаправленная неподвижная антенна
Более высокие углы подъема антенн над горизонтом для уменьшения шумов окружающей среды	Огромные затраты в финансовом плане
Меньше затраты энергии по сравнению с геостационарным спутником	Большее время распространения и задержки сигнала

Таким образом, чем выше орбита, тем меньше спутников требуется для покрытия площади обслуживаемой территории земной поверхности. Для круговых орбит взаимосвязь между числом ИСЗ, высотой их орбиты и углом места над горизонтом определяется выражением

$$N = pq = \frac{4\sqrt{3}}{9} \left(\frac{\pi}{\gamma}\right)^2 \quad (1.14)$$

Где p-число орбитальных плоскостей, q-число космических аппаратов в одной плоскости,  $\gamma$  – угол, отсчитывающийся от центра Земли между ИСЗ и границы зоны обслуживания.

Все эти данные и характеристики можно увидеть в таблице 1.3:

Таблица 1.3 - Характеристики орбит

Тип орбиты	Геостационарная	Средневысотная	Низкие круговые	Эллиптическая
Высота орбиты, км	36000	10000	700-5000	40000
Количество КА	3	8-12	48-66	6-8
Время пребывания КА в зоне видимости	Непрерывное	1.5-2ч	1-15мин	9-10ч
Угол места на краю зоны обслуживания	5	25-30	10-15	25-40

## 2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

### 2.1 Антенны спутниковых систем радиосвязи

Антенны являются одним из самых важных частей для выполнения задач спутников. На геостационарных спутниках в основном используют четыре вида антенн:

1. глобальные;
2. полуглобальные;
3. зональные;
4. узконаправленные.

Современные спутники используют антенны с лучами специальной формы в пределах контуров зоны обслуживания, чтобы избежать переполнения. Теоретически можно показать, что геометрия части луча антенны является хорошим приближением к геометрии ее излучения.

Ограниченная доступная для использования частота и загруженность геостационарной орбиты увеличивают потребность в повторном использовании частоты за счет разделения сигналов поляризации. Типичное значение развязки поляризации, необходимое для повторного использования частоты, составляет 27 дБ. Так, спутник Eutelsat II достиг лучшей производительности, чем 36дБ, благодаря антенне, оснащенной сетчатым отражателем.

Развязка луча. Как и в случае с различными "полуглобальными" и "зональными" спутниковыми лучами, если зона обслуживания может быть покрыта хорошо изолированным лучом, два отдельных луча могут использовать одну и ту же полосу частот (Intelsat-VI использует одну и ту же полосу частот 6 раз: дважды для разделения поляризации и четыре раза для луча развязка). Лучшее приближение контура желаемой зоны обслуживания потребует большего количества облучателей и увеличения размера отражателя. Форма фигуры и уровень бокового лепестка определены только для мощных спутников прямого телевизионного вещания. Одно из важнейших направлений совершенствования современных спутниковых систем связано с созданием новых антенных устройств, способных обеспечить высокие требования к скорости передачи информации, пространственному разделению и эффективности использования частотного спектра путем поляризационного разделения диаграмм направленности (DN) отдельных лучей, к шумовым характеристикам системы и электромагнитной совместимости.

Многие существующие многолучевые антенны (MLA) в современных ретрансляторах спутниковых систем связи построены на параболических зеркалах, а рупорные излучатели чаще всего используются в качестве элементов облучаемых антенных решеток как в фазированных антенных решетках, так и в гибридных зеркальных антеннах (GSA). В то же время требования к характеристикам антенны ДН предусмотрены для сложной, громоздкой и

дорогостоящей схемы формирования фигуры (DOS) и других 38 вспомогательных технических средств. В результате полоса рабочих частот такой антенны не превышает 3-5%, КПД не превышает 50%, а угол отклонения луча в ДН составляет не более  $15^\circ/4$ . Конструкция MLA была основана на двух зеркальных антенных системах с многоэлементными излучателями.

Многолучевые рабочие зоны обычно формируются на основе гексагональной сетки. Требуемое количество лучей в многолучевой антенной системе оценивается на основе предположения, что угол положения в зоне луча изменяется незначительно. В этом приближении количество лучей определяется следующим уравнением:

$$Q = \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 * \left(\frac{S * \sin(\alpha)}{L^2}\right) * \left(\frac{1}{\theta_0^2}\right) \quad (2.1)$$

где

$S$  - общая площадь рабочей зоны обслуживания, км<sup>2</sup>;

$L$  - дальность наклона луча от центра зоны  $S$ , км<sup>2</sup>;

$\alpha$  - угол расположения, соответствующий центру зоны  $S$ , град.;

$\theta_0$  - половина ширины нижней части луча на заданном уровне, град.

Технические характеристики спутников, работающих в Ка-диапазоне в Казахстане:

$S = 2,6 * 10^5$  км<sup>2</sup>;  $\alpha = 0,75$  град.;  $\theta_0 = 0,8$ град;  $L=42000$ км

*Высчитано на маткаде, приложение Б.*

Характеристики сканирования зависят от типа зеркальной системы. Две зеркальные системы позволяют получить большее угловое расстояние луча, чем однозеркальные системы, с примерно одинаковым коэффициентом усиления в угловом секторе.

Как входящий, так и исходящий MLA состоят из следующих узлов: Стойка для крепления малого зеркала (1); фиксирующее большое зеркало(2); Платформа с механизмом для открывания и фиксации большого зеркала(рабочее положение)(3); Большое зеркало (4); большой рама для крепления зеркала (5); неэквидистантная решетка излучателей (6); маленькое зеркало (7).

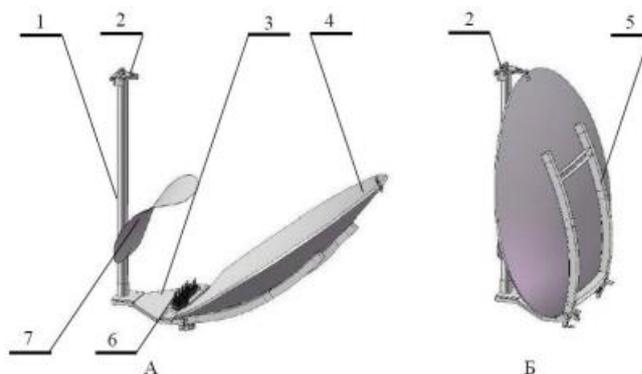


Рисунок 2.1 - Антенна космического аппарата

Встроенный МЛА должен работать в более высоком диапазоне частот, что требует более жестких допусков для воспроизведения рассчитанного. Профиль зеркальной поверхности, допуск для установки облучателя на сетке, изготовление других элементов конструкции МЛА. Кроме того, для увеличения коэффициента отражения от поверхности зеркал необходимо прижать тонкую сетку из вольфрамовой проволоки с серебряным или золотым покрытием.



Рисунок 2.2 - Компонировка КА с МЛА

Главными требованиями к материалу зеркала МЛА являются следующие:

1. Стабильность норм зеркала и точность рабочей плоскости производства и эксплуатация;
2. Надежность всех частей МЛА;
3. Жесткость и недостаток определенных частот вибрации рабочей полосы.

Структура зеркала МЛА должна устраивать требования. Также зеркало должно иметь минимальную массу. Материал зеркала, установка рамы, стойки

должны быть выполнены из многокомпонентных материалов на основе углеродного волокна.

Современные спутниковые системы мобильной связи (далее ССМС) развертывают региональные системы, которые ориентируются на обслуживание отдельных районов.

## 2.2 Особенности формирования антенных решеток

Такие ССМС опираются на новейшие технологии и более привлекательны для инвесторов от гигантов до компаний с небольшим капиталом. Более того, большинство современных подключенных геостационарных спутников разработаны на основе технологии цифровой антенной решетки (ЦАР). Реализованный в них метод формирования цифровых диаграмм является новым направлением и в космической технике, и в наземной инфраструктуре спутниковой связи. Осуществление работы ЦАР построена на передовых способах цифровой обработки сигналов. Цифровое формирование диаграммы направленности антенны (ДН) обеспечивает многочисленные узкие, независимо настраиваемые формирования и динамически перенастраиваемые лучи в соотношении изменений нагрузки в зоне обслуживания. Преимущества цифрового формирования лучей:

Применение методов обработки сигналов без потерь в отношении сигнал-шум;

1. Можно выбрать форму и направление лучей самостоятельно;
2. Парциальные лучи можно нацелить на пользователей, таким образом обеспечить максимальную производительность всех каналов связи;
3. Формирование лучей, которые повышают помехозащищенность радиолиний путем синтеза глубоких провалов в диаграмме направленности антенной решетки;
4. Контролирует и компенсирует все плохие изменения амплитуды и фазы сигналов по трассе распространения;
5. Возможность дистанционного программирования для модернизации методов обработки сигналов и режимов функционирования системы.

Характеристики антенн

Используемые материалы: тонкая позолоченная вольфрамовая проволока, молибденовая проволока;

1. Толщина материалов 10-30мкм;
2. Плотность материала составляет около 30-40 г/м<sup>2</sup>;
3. Диаметр: от 3 до 50м;
4. Вес от 10 до 80 кг соответственно к диаметру.

Характеристики надувных антенн

1. Используемые материалы: тонкая и прочная газонепроницаемая пленка;

2. Форма поддерживается благодаря давлению газа находящийся внутри;
3. Диаметр: около 14 метров.

Лучи системы GPS с ЦАР может быть сформирован для каждого подсчета АЦП после всех процессов корреляции принятого сигнала.

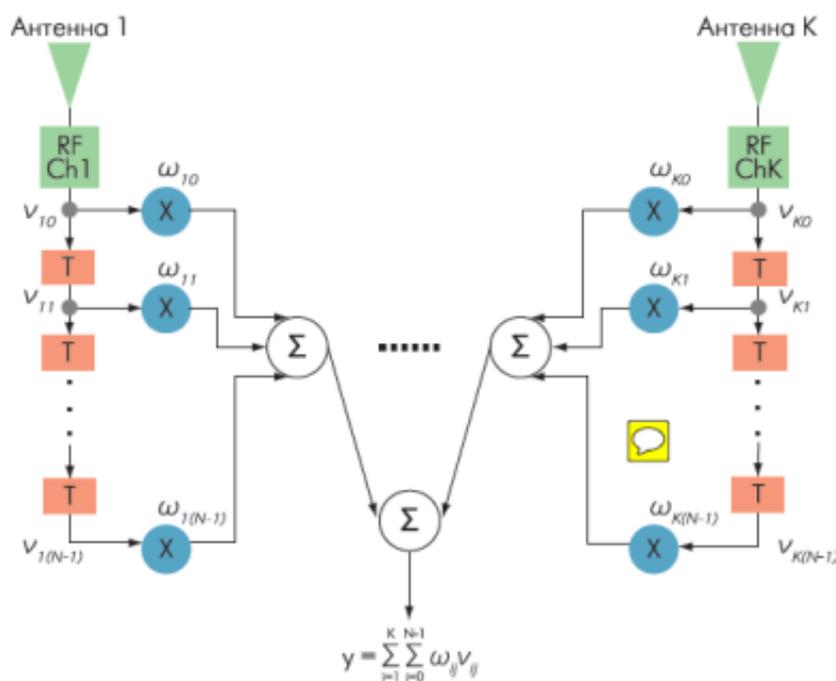


Рисунок 2.3 - Формирование парциального луча после корреляционной обработки

Для эффективного подавления активных помех операцию пространственной режекции их источников предпочтительно выполнять по первому варианту, так, проводить согласованную корреляционную обработку после компенсации сигналов помех. Этот метод выдвигает жесткие требования к производительности процессора устройства цифрового диаграммообразования (ЦДО) и компенсации помех.

Для эффективного подавления помех предпочтительно выполнять операцию пространственного устранения их источников согласно первому варианту. Например, предпочтительно выполнять совместную корреляционную обработку после компенсации сигнала помехи. В этом методе предъявляются строгие требования к производительности процессора и компенсации помех (ЦДО).

Фазированная антенная решетка представляет собой серию излучателей, соединенных фазовращателем на фидерной линии. С помощью фазовращателя фаза сигнала контролируется каждым излучателем. Управляя фазой, сигналы, излучаемые в заданном направлении, входят в фазу и усиливают друг друга.

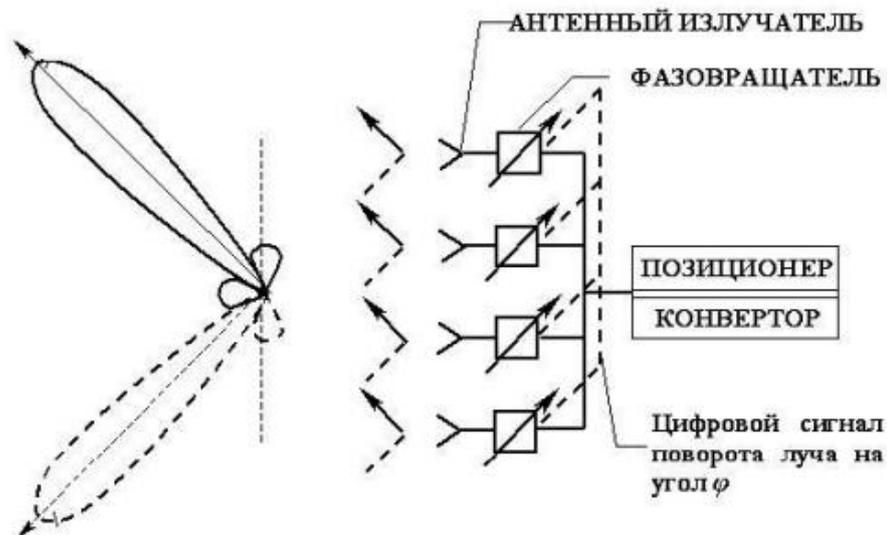


Рисунок 2.4 - Фазированная антенная решетка

Чтобы высчитать нормированную ДН одного луча используем следующую формулу:

$$F(u, v) = \frac{1}{M*N} * \left| \frac{\sin\left(\frac{M\pi d_x * u}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{\pi d_x * u}{\lambda}\right)} \right| * \left| \frac{\sin\left(\frac{N\pi d_y * v}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{\pi d_y * v}{\lambda}\right)} \right| \quad (2.2)$$

Где  $u = \sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0 \cos \varphi_0$ , а  $v = \sin \theta \sin \varphi - \sin \theta_0 \sin \varphi_0$   
 $\theta_0$ -направление максимума главного лепестка ДН луча  
 $d_x$  и  $d_y$ -расстояние между элементами по оси X и Y

### 2.3 Используемые инновационные технологии

Thuraya-это одна из самых популярных технологий в антенной технике геостационарных спутников с применением узких лучей реализовано в системе Thuraya. Рефлектор L-диапазона образует активную фазированную решетку, формирующая более 250 локальных лучей и обрабатывающие 13 750 телефонных разговоров. Также, система образования луча позволяет изменять лучи в зоне покрытия путем их увеличения или же расширения. Также, можно концентрировать лучи в районах максимальной активности пользователей, тем самым увеличивая пропускную емкость. На данный момент на геостационарной орбите расположены всего три спутника Thuraya, один из которых отработав свой ресурс, остается в рабочем состоянии на орбите как резервный. Энергопитание спутников осуществляется при помощи солнечных батарей.

Цифровое формирование лучей- технология, которая позволит эффективно внедрять динамические адаптивные услуги, основанные на



преобразователи в открывающемся автомобиле срабатывают синхронно. Набор цифровых показаний многосигнального смешанного напряжения подается на графический процессор, который ориентирует максимальное значение лучей в соответствии с координатами центра наземной ячейки, таким образом, выполняется первичный пространственный выбор абонента сообщения. Ответ на прием вторичного канала представляет собой канал, который выделяет канал с переменной полосой пропускания, квадратурной фазовой демодуляцией сигнала и декодированием сообщения в соответствии с обычным стандартом TDMA/FDM.

Когда ЦАР работает на передачу (рис. 2.5b). Передаваемый сигнал после квадратурной фазовой модуляции в канальном процессоре кодируется в цифровом виде с помощью механизма TDMA/FDMA. Затем они подаются в процессор ЦФЛ, который формирует цифровое изображение результирующего амплитудно-фазового распределения электромагнитного поля вдоль раскрыва ЦАР, соответствующего заданной пространственной ориентации линии ДН. Комплексные цифровые показания напряжения сигналов с выхода процессора ЦФЛ подаются на ЦАП. После смещения частоты и усиления мощности сигнал ЦАП, преобразованный в аналоговую форму, подается на вывод питания антенного элемента и излучается в пространство. При работе с обычной приемопередающей антенной сегменты приема и передачи подключаются к антенным элементам через переключатель.

В таблице 2.1 указаны тарифы Thuraya Prepaid на 2022 год:

Таблица 2.1 - Тарифы Thuraya на 2022 год

10 минут	7000тг
20 минут	12500тг
39 минут	23900тг
50 минут	30400тг
80 минут	47500тг
160 минут	93500тг
Реактивация SIM-карты	12000тг
Замена SIM-карты	20000тг

Пополнять баланс можно через терминалы Qiwi, онлайн через карты Visa и Mastercard, через поддержку или же через операторов в офисе по диагностике и ремонту оборудования. На данный момент в продаже есть только восемь моделей. Из них две бесплатные, остальные платные, максимальная цена 710000 тенге.

## 2.4 Зоны обслуживания спутниковых систем на территории РК

Так как территория Республики Казахстан очень большая, зоны делятся по областям. Эти зоны созданы для того, чтобы устанавливать соединения между абонентами из одной или из разных зон максимально быстро. Зоновое обслуживание также может делиться и на другие площади. К примеру, у Эстонии и Молдавии всего одна территориальная зона. К сожалению точное местоположение наземных станций не известно, и высчитать площадь каждой зоны не возможно из-за отсутствия примеров и закрытости информации.

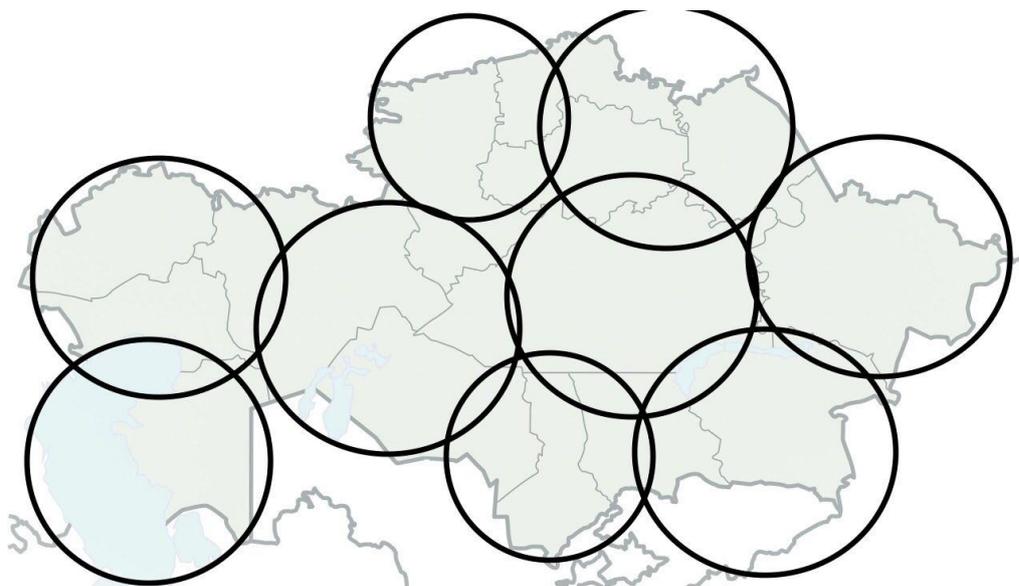


Рисунок 2.6 - Зоны обслуживания в Казахстане

### 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ЗОНОВЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

#### 3.1 Проектирование системы спутниковой связи

При проектировании системы спутниковой связи первым делом нужно выбрать орбиту и точку стояния искусственного спутника Земли.

Первым делом выполним расчет параметров бортовых антенн искусственного спутника Земли.

$$G_{КС} = 44,4 - 10 * lga_1 - 10 * lga_2 (\text{дБ}) \quad (3.1)$$

Для правильного подсчета бортовых антенн нам нужно иметь параметры углов лучей.  $a_1$  и  $a_2$  это углы раскрывающих лучей антенн, градусы.

Эквивалентная изотропная излучаемая мощность(ЭИИМ):

$$\text{ЭИИМ} = P_{КС} * \eta * G_{КС} (\text{Вт}) \quad (3.2)$$

$P_{КС}$ -мощность передатчика космического спутника;

$\eta$ -коэффициент передачи волноводного тракта;

$G_{КС}$ -коэффициент усиления антенны космического спутника.

По рекомендациям для оптимального соотношения между мощностью и полосой пропускания ствола при стволе 35...40 МГц мощность должна быть равна 5...20 Вт. Таким образом ЭИИМ будет равна 23...31 дБВт. По выбранным значениям ЭИИМ можно определить создаваемую плотность потока мощности на поверхности Земли:

$$W = 10 \lg \left[ \frac{\text{ЭИИМ}}{4\pi d^2 L_{\text{доп}}} \right] \left( \frac{\text{дБВт}}{\text{м}^2} \right) \quad (3.3)$$

Мощность сигнала на входе приемника можно рассчитать по следующей формуле:

$$P_C = P_{\text{АПРМ}} = W * S_{\Sigma} = W * q * S_A (\text{Вт}) \quad (3.4)$$

$q$ -коэффициент использования раскрыва антенн(0,6-0,8);

$S_A$ -площадь раскрыва антенны,  $\text{м}^2$ .

Мощность шума на входе приемника высчитывается по следующей формуле:

$$P_{\text{ш}} = k * T_{\Sigma} * \Delta f_{\text{ш}} \quad (3.5)$$

Энергетический расчет спутниковых линий.

Цель данного расчета в определении значения мощности передатчиков земной станции и мощности бортового ретранслятора. Коэффициент усиления параболической антенны можно высчитать по следующей формуле:

$$G = \frac{10q * D_A^2}{\lambda^2} \quad (3.6)$$

$q$ -коэффициент использования раскрыва антенны;

$D_A$ -диаметр антенны, м;

$\lambda$ -длина волны, м.

Сигнал может ослабеть из-за сферической расходимости фронта волны:

$$L_0 = 16\pi^2 \frac{d^2}{\lambda^2} \quad (3.7)$$

$d$ -расстояние среди передающей и приемной антеннами, м;

$\lambda$ -длина волны, м.

$$d = 42644 * \sqrt{1 - 0,2954 * \cos\varphi_{ЗС} * \cos(\beta_{ЗС} - \beta_{КС})} \quad (3.8)$$

$\varphi_{ЗС}$ -географическая широта;

$\beta_{ЗС}$ -географическая долгота земной станции;

$\beta_{КС}$ -географическая долгота космической станции.

Высчитать полное ослабление сигнала во время всего пути также возможно:

$$L_p = L_0 + L_{\text{доп}} \quad (3.9)$$

$L_{\text{доп}}$ -это дополнительные потери сигнала в атмосфере, поляризационных антенн и других причин.

Мощность сигнала на входе приемника можно высчитать по формуле:

$$P_{\text{ПРМ}} = P_{\text{Э}} G_{\text{ПРМ}} \quad (3.10)$$

Подставив в уравнение все доступные формулы, то получим:

$$P_{\text{ПРМ}} = \frac{16\pi^2 d^2 L_{\text{доп}} P_{\text{Ш}} \left( \frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{Ш}}} \right)}{\lambda^2 G_{\text{ПРДЗ}} G_{\text{ПРДБ}} \eta_{\text{ПРДЗ}} \eta_{\text{ПРДБ}}} \quad (3.11)$$

$P_{\text{ПРМ}}$  может подразделяться на спутник-земля и земля-спутник. Для каждого из них будет своя отдельная формула:

$$P_{\text{ПРДЗ}} = \frac{16\pi^2 d^2 L_{\text{ДОП}} P_{\text{ШБ}} \left(\frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{Ш}}}\right)_{\text{ВХБ}}}{\lambda^2 G_{\text{ПРДЗ}} G_{\text{ПРДБ}} \eta_{\text{ПРДЗ}} \eta_{\text{ПРДБ}}} \quad (3.12)$$

$$P_{\text{ПРДБ}} = \frac{16\pi^2 d^2 L_{\text{ДОП}} P_{\text{ШЗ}} \left(\frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{Ш}}}\right)_{\text{ВХЗ}}}{\lambda^2 G_{\text{ПРДЗ}} G_{\text{ПРДБ}} \eta_{\text{ПРДЗ}} \eta_{\text{ПРДБ}}} \quad (3.13)$$

Для перехода от отдельных уравнений участков к общему уравнению для общей линии, нужно установить связь между сигналом и шумами на каждом участке линии. Таким образом, отношение сигнал/шум на участках должны быть выше, чем на выходе:

$$\left(\frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{С}}}\right)_{\text{ВХБ}} = a \left(\frac{P_{\text{Ш}}}{P_{\text{С}}}\right)_{\Sigma}; \quad \left(\frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{С}}}\right)_{\text{ВХЗ}} = b \left(\frac{P_{\text{Ш}}}{P_{\text{С}}}\right)_{\Sigma} \quad (3.14)$$

Решив систему из двух уравнений получим, что:  $a = \frac{b}{b-1}$

Если  $b$  взять равным 1 дБ, то необходимое превышение на участке Земля-спутник  $a$  будет равен 7дБ.

Окончательный вид линий спутниковой связи:

$$P_{\text{ПРДЗ}} = \frac{16\pi d_1^2 L_{\text{ДОП}} k T_{\Sigma\text{Б}} \Delta f_{\text{ШБ}}}{\lambda^2 G_{\text{ПРДБ}} G_{\text{ПРМЗ}} \eta_{\text{ПРДЗ}} \eta_{\text{ПРМБ}}} * a \left(\frac{P_{\text{Ш}}}{P_{\text{С}}}\right)_{\Sigma} \quad (3.15)$$

$$P_{\text{ПРДБ}} = \frac{16\pi d_2^2 L_{\text{ДОП}} L_{\text{ДОП}} k T_{\Sigma\text{З}} \Delta f_{\text{ШЗ}}}{\lambda^2 G_{\text{ПРДБ}} G_{\text{ПРМЗ}} \eta_{\text{ПРДЗ}} \eta_{\text{ПРМБ}}} * b \left(\frac{P_{\text{Ш}}}{P_{\text{С}}}\right)_{\Sigma} \quad (3.16)$$

*Структурную схему и диаграмму уровня линии спутниковой связи, состоящей из двух секций, можно найти в Приложении Г.*

### 3.1.1 Электромагнитная совместимость спутниковых и наземных систем связи

Представленные для работы спутниковых систем большое количество наземных систем связи работает в полосе частот для уменьшения помех наземных систем от спутникового излучения поверхность Земли  $W$ . Максимальная плотность потока мощности сигнала (дБВт/м<sup>2</sup>), создаваемая при  $W$ , должна соответствовать следующим условиям:

$$W = W_0 \text{ при } \varepsilon \leq 5^\circ$$

$$W = W_0 + 0,5 \text{ при } 5^\circ < \varepsilon \leq 25^\circ$$

$$W = W_0 + 10 \text{ при } 25^\circ < \varepsilon \leq 90^\circ$$

$\varepsilon$ -угол места

$$W_0 = -152 \frac{\text{дБВт}}{\text{м}^2} \text{ для } 3,4 - 7,75 \text{ ГГц};$$

$$W_0 = -150 \frac{\text{дБВт}}{\text{м}^2} \text{ для } 10,7 - 11,7 \text{ ГГц};$$

$$W_0 = -148 \frac{\text{дБВт}}{\text{м}^2} \text{ для } 12,2 - 12,75 \text{ ГГц};$$

$$W_0 = -115 \frac{\text{дБВт}}{\text{м}^2} \text{ для } 17,7 - 19,7 \text{ ГГц и } 31 - 40,5 \text{ ГГц}.$$

$W$  определяется в пределах полосы частот условного управления с диапазоном 1 МГц 17,7-19,7; 31-40,5 ГГц, а остальные 4 кГц (низкие частоты).

Плотность потока мощности можно определить по формуле:

$$W = \frac{P_{\text{АПРМ}}}{S_{\text{Э}}} = \frac{P_{\text{Э}} G_{\text{ПРМ}}}{L_p S_{\text{Э}}} = P_{\text{Э}} * \frac{4\pi}{L_p \lambda^2} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.17)$$

$P_{\text{АПРМ}}$ -это мощность, на выходе приемной антенны ЗС;

$S_{\text{Э}}$ -эффективная площадь антенны, непосредственно определяющая поток энергии.

$G_{\text{ПРМ}} = \frac{4\pi}{L_p \lambda^2}$  – это коэффициент усиления приемной антенны ЗС;

$P_{\text{Э}}$ -ЭИИМ бортового ретранслятора, Вт;

Та же формула только в логарифмическом виде:

$$W = P_{\text{Э}} - L_p + 20 \lg f + 21,5 \frac{\text{дБВт}}{\text{м}^2} \quad (3.18)$$

$f$ -частота ГГц;

$P_{\text{Э}}$ -ЭИИМ бортового ретранслятора, дБВт

$L_p$ -ослабление сигнала на пути распространения, дБ.

Услуги спутникового вещания в полосе частот 620-790 МГц, плотность потока мощности на территории других государств ограничена следующим образом:

$$-129 \text{ при } \varepsilon \leq 20^\circ$$

$$-129 + 0,4(\varepsilon - 20) \text{ при } 20^\circ < \varepsilon \leq 60^\circ$$

$$-113 \text{ при } 60^\circ < \varepsilon \leq 90^\circ$$

Несмотря на введенные ограничения, проверки на электромагнитную совместимость в системе по-прежнему выполняются. Как только система будет развернута на ее территории, можно будет реально оценить степень воздействия помех. Если система спутниковой связи расположена в пограничной зоне своей территории, необходимо построить координационную зону. Процедура расчета КЗ установлена в соответствии с рекомендацией 847. Эти документы ЗС с приложением КЗ отправляются в соседние страны для корректировки. Для реальной ЗС координатное расстояние, то есть расстояние от азимутального положения ЗС до координатного контура, составляет 200-500 км.

### 3.1.2 ЭМС для сетей геостационарной спутниковой связи, использующих одну и ту же полосу частот

Этот метод расчета основан на идее, что при воздействии сигнала помехи эффективная шумовая температура системы, подверженной воздействию помех, увеличивается. Согласно этому способу может быть рассчитано кажущееся относительное увеличение температуры шума существующей линии  $\Delta T_{\Sigma}/T_{\Sigma}$ , из-за влияния сигнала помехи, генерируемого проекционной системой, и может быть рассчитана разница в 6%.

*Схема приложения [Г]*

Используемые для расчетов формулы:

$$\Delta T_{\Sigma} = \frac{\gamma \Delta T_{\uparrow}}{\gamma} + \frac{\Delta T_{\downarrow}}{\gamma} \quad (3.19)$$

$\Delta T_{\uparrow}$  и  $\Delta T_{\downarrow}$  это увеличение и уменьшение шумовой температуры на участке;

$\gamma$ -коэффициент ослабления мешающего сигнала;

ЗС проекционной системы, которая использует ту же полосу частот, что и ЗС операционной системы, увеличивает шумовую температуру рабочей ЗС  $\Delta T_{\uparrow}$ .

$$\Delta T_{\uparrow} = S_{3C_2} G_{3C_2}(\theta_2) \frac{G_{БР1} \alpha_1}{L_{p\uparrow}} (K) \quad (3.20)$$

Где  $S_{3C_2}$  это спектральная плотность мощности ЗС2;

$L_{p\uparrow}$  - Это ослабление сигнала помехи на пути распространения в восходящем участке;

$G_{3C_2}(\theta_2)$  - коэффициент усиления антенны ЗС проектируемой системы, зависящий от топоцентрического угла  $\theta_2$ ;

$G_{БР1} \alpha_1$  -это коэффициент усиления существующей системы антенны, зависящий от угла окружности  $\alpha_1$ ;

$k = 1,38 * 10^{-23}$  -постоянная Больцмана; (Вт/ГцК)

КС разработанной системы использует ту же полосу частот, что и КС операционной системы, для повышения шумовой температуры ЗС  $\Delta T_{\downarrow}$  во время работы.

$$\Delta T_{\downarrow} = S_{БР_2} G_{БР_2}(\alpha_2) \frac{G_{ЗС_1}(\theta_1)}{kL_{p\downarrow}} (К) \quad (3.21)$$

$S_{БР_2}$  - спектральная плотность мощности БР2, Вт/Гц;

$L_{p\downarrow}$  - Ослабление сигналов помех на пути распространения нижнего участка;

$G_{ЗС_1}(\theta_1)$  - Коэффициент усиления антенны ЗС в проекционной системе зависит от топоцентрического  $\theta_1$ ;

$G_{БР_2}(\alpha_2)$  - коэффициент усиления антенны КС существующей системы, зависящий от экзоцентрического угла  $\alpha_2$ ;

$k = 1,38 * 10^{-23}$  - постоянная Больцмана; (Вт/ГцК)

Коэффициент усиления антенны ЗС определяется фактически измеренными характеристиками, или, если такая информация недоступна, правила радиосвязи определяют следующие эталонные диаграммы направленности

$$\text{Для } \frac{D_A}{\lambda_{CP}} \geq 100; \quad G(\theta) = G_{max} - 2,5 * 10^{-3} \text{ (дБ);}$$

$$G(\theta) = G_1 \text{ (дБ)} \quad \text{при } \theta_m < \theta < 48^\circ;$$

$$G(\theta) = -10 \text{ (дБ)} \quad \text{при } 48^\circ < \theta < 180^\circ.$$

Топоцентрический угол на земной станции определяется следующим уравнением:

$$\theta_1 = \arccos B_1 \quad (3.22)$$

$$B_1 = \frac{d_1^2 + d_3^2 - (84322 * \sin(\frac{\theta_g}{2}))^2}{2d_1^2 d_3^2} \quad (3.23)$$

$\theta_g$  - это геоцентрический угол;

Если КС имеет антенну глобального покрытия, коэффициент усиления встроенной антенны ретранслятора  $G_{БР}(\alpha)$  не зависит от угла окружности.

При других условиях угол окружности определяется из теоремы о косинусах, которая определяет расстояние между земными станциями:

$$d_{ЗС_1ЗС_2}^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \quad (3.24)$$

$$d_1 * d_2 * \cos \alpha_1;$$

$$x_1 = R_3 * \cos \varphi_1 * \cos \beta_1;$$

$$y_1 = R_3 * \cos \varphi_1 * \sin \beta_1;$$

$$z_1 = R_3 * \sin \varphi_1.$$

где

$R_3$ -радиус Земли равный 6370 км.

$\varphi_1$  и  $\varphi_2$  широты ЗС;

$\beta_1$  и  $\beta_2$  долготы ЗС.

Аналогично определяем  $x_2, y_2, z_2$ .

$$d_{3C_13C_2}^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 \quad (3.25)$$

Вычислив  $d_{3C_13C_2}$  и решив уравнение 6.7 относительно  $\alpha_1$  получим:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{d_1^2 + d_2^2 - d_{3C_13C_2}^2}{2d_1 d_2} \quad (3.26)$$

Аналогичный расчет выполняется для  $\alpha_2$  с использованием расстояний  $d_3, d_4$ . Итак, чтобы определить угол окружности, вы должны сначала использовать координаты ЗС для определения расстояния между ними, а затем использовать теорему о косинусах.

Коэффициент усиления антенны КС определяется следующим уравнением (в дБ):

$$G(\alpha) = G_m - 12 \quad \text{при } 0,5\alpha_0 \leq \alpha \leq 3,15\alpha_0;$$

$$G(\alpha) = G_m - 20 \quad \text{при } 1,3\alpha_0 \leq \alpha \leq 3,15\alpha_0;$$

$$G(\alpha) = G_m - 7 - 25 \frac{\lg \alpha}{\alpha_0} \quad \text{при } \alpha_1 \leq \alpha;$$

$\alpha_0$ -ширина диаграммы направленности по половинной мощности;

$G_m = 44,4 - 20 \lg \alpha_0$ -максимальное усиление.

### 3.2 Расчет скорости передачи информации 200кбит/с, 1Мбит/с, 10Мбит/с.

Скорость передачи данных - это объем информации, передаваемых в единицу времени (обычно 1 секунда). Основной единицей измерения скорости

передачи данных являются биты в секунду. Кроме того, базовая единица содержит байты в секунду, что равно 8 битам в секунду. 1 Все остальные единицы измерения скорости передачи данных являются производными от этих двух. К примеру:

1 килобит в секунду =  $1 \times 10^3 = 1000$  бит в секунду

1 кибибит в секунду =  $1 \times 2^{10} = 1024$  бит в секунду

Рассматривая все возможные многоуровневые и многофазные методы кодирования, теорема Шеннона-Хартли утверждает, что теоретическая верхняя граница скорости передачи информации, которая может быть передана при емкости канала  $C$ , то есть при заданной средней мощности сигнала  $S$  по одному аналоговому каналу связи, который принимает аддитивную мощность белого гауссова шума  $N$ :

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.2.1)$$

где

$C$ -емкость канала в бит/секунду;

$B$ -полоса пропускания канала в герцах;

$S$ -полная мощность сигнала над полосой пропускания, Ватт или вольт в квадрате;

$N$ -полная шумовая мощность над полосой пропускания, Ватт или вольт в квадрате.

Для того, чтобы высчитать скорость передачи данных, используем следующую формулу:

$$V = \frac{I}{t} \quad (3.2.1.)$$

где

$V$  это скорость передачи данных;

$I$ -объем переданных данных;

$t$ -время.

Пример: Файл размером 5 МБ (мегабайт) был передан по нескольким соединениям, и передача заняла 16 секунд. Необходимо определить скорость передачи этого файла в мегабитах в секунду.

Первым действием 5 МБ переводим в биты.

$$0,4\text{МБ} = 0,4 * 8000000 = 3\ 200\ 000 \text{бит/с}$$

$$V = \frac{3200000}{16} = 200000 \text{бит/с}$$

Переводим полученный результат в килобиты в секунду:

$$V = \frac{200000}{1000} = 200 \frac{\text{Кбит}}{\text{с}}$$

Объем данных находится по следующей формуле:

$$I = V * t \quad (3.2.3)$$

где

I-объем переданных данных;

V это скорость передачи данных;

t-время.

Пример: Скорость передачи данных равен 1Мбит/с. Передача файла заняла 10 секунд. Определите объем файла килобайтах.

$$I = 1 * 10 = 10\text{Мбит}$$

Переведем полученный результат в килобайты

I=1250 килобайт

Найдем время передачи данных:

$$t = \frac{I}{V} \quad (3.2.4)$$

где

t-время;

I-объем переданных данных;

V это скорость передачи данных.

Пример: за сколько секунд загрузится файл размером в 1GB, если скорость соединения равна 10Мбит/с?

Первым делом Гигабайт можно перевести в Мбит для удобства подсчета.

$$1GB = 8\,000\,000\,000\text{бит} = 8000\text{Мбит}$$

$$t = \frac{8000}{10} = 800\text{секунд} \approx 13,3\text{ минут}$$

В представленном разделе продемонстрировано проектирование спутниковой системы связи с зонавым обслуживанием. Цель данного расчета в определении значения мощности передатчиков земной станции и мощности бортового ретранслятора. Также был проведён расчет скорости передачи информации, данные скорости были взяты мною с технического задания. Чем

выше скорость передачи информации, тем меньше времени потребуется для передачи и получения информации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Так, цель дипломной работы заключалась в исследовании и способах применения Ka-диапазонов в проектировании систем спутниковой связи с зонным обслуживанием.

За последние несколько лет в связи с системами спутниковой связи и вещания было проведено активное коммерческое освоение спутниковых диапазонов. Это вопрос международной координации новых геостационарных спутников в диапазоне Ka и максимально возможной пропускной способности спутника для минимизации затрат на передачу единиц информации. В дипломной работе были рассмотрены технические характеристики спутников, работающих в Ka-диапазоне Казахстана, проектирование систем спутниковой связи, расчет скоростей передачи информации, проведенные расчеты подтверждают преимущества использования диапазона Ka, несмотря на увеличение ослабления сигнала при распространении. Увеличение затухания компенсируется увеличением коэффициента усиления антенны и использованием узкого пучка диаграмм направленности антенн, а преимуществом многолучевых систем, позволяющих улучшить энергетические характеристики линий спутниковой связи, является повторное использование частот и эффективность использования частотных ресурсов. В предлагаемом проекте для Казахстана, согласно расчетам, рекомендуется 9 лучей для обслуживания всей территории. В экономической части работы был проведен анализ рынка телекоммуникаций, показатели срока окупаемости проекта были представлены в самом конце расчета.

Таким образом, существует множество различных систем спутниковой связи. У каждого есть свои преимущества и недостатки. Кроме того, каждый производитель предоставляет своим пользователям индивидуальный набор услуг, определяет набор функций для каждой зоны покрытия, а также рассчитывает стоимость спутникового оборудования и услуг связи в России и Казахстане, важными из которых являются Inmarsat, Iridium, Thuraya.

С каждым годом система связи с зонным обслуживанием будет более популярным, хоть и является более дорожке чем обычная сотовая связь. Но на данный момент времени, обычным пользователям такие системы не нужны. Это больше нужно для больших компаний, богатых людей, которым нужна хорошая связь, правительству. Но это достойная замена сотовой связи, так через несколько десятилетий это будет самой распространенной связью, а стационарные домашние телефоны исчезнут полностью.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Intelsat. 2022. [официальный сайт Intelsat <<https://www.intelsat.com/resources/tools/satellite-101/>> [Дата обращения 9 марта 2022].
2. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов // Электронная версия на сайте <<https://siblec.ru/telekommunikatsii/teoreticheskie-osnovy-tsifrovoj-svyazi/5-analiz-kanala-svyazi/5-7-sputnikovye-retranslyatory>> -2012 – 244 с.
3. Характеристика сетей спутниковой связи // Электронная версия на сайте <<https://pandia.ru/text/77/137/22.php>> - 2014 – 6-9.
4. Особенности и перспективы развития спутниковой связи // Электронная версия на сайте <<https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=802777#text>> - 2014 –7-7.9.
5. Характеристика спутниковых сетей связи // Электронная версия на сайте <<https://works.doklad.ru/view/VCisyVmVBak/all.html>> - 2016 – 3-8.
6. Михайлов Р.Л. Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения // Электронная версия на сайте <<https://publishing.intelgr.com/archive/Mikhailov-satellite-communication-system.pdf>> 2019 – 108.
7. Спутниковые системы связи // Электронная версия на сайте <<https://altegosky.ru/info/sputnikovye-sistemy-svyazi.php>>
8. Невдяев Л.М., Смирнов А.А. Персональная спутниковая связь // Электронная версия на сайте <[https://www.bsuir.by/m/12\\_100229\\_1\\_85527.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_85527.pdf)> 1997 - 134.
9. Овчинников А.М. Обзор и сравнительный анализ стандартов цифровой транкинговой радиосвязи // Электронная версия на сайте <<https://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/obzor-i-sravnitelnyy-analiz-standartov-tsifrovoy-trankingovoy-radiosvyazi/>>
10. Ноздрин В.В. Перспективы развития услуг спутниковой связи и вещания // Электронная версия на сайте <[http://tssonline.ru/articles2/sputnik/perspekt\\_razvit\\_rynka\\_uslug\\_sputn\\_svyazi\\_i\\_vesch](http://tssonline.ru/articles2/sputnik/perspekt_razvit_rynka_uslug_sputn_svyazi_i_vesch)>
11. Спутниковая связь // Электронная версия на сайте <<http://kunegin.com/ref1/sput/sss.htm>>
12. Ю. А. Бутузов, Е. В. Ползик. Системы спутниковой связи// Учебное пособие- Алматы 2007. 102 стр.
13. Новиков В.К. Перспективы развития спутниковой связи на основе геостационарных спутников // Технологии и средства связи - №1 – 2012 – 3-15 с.
14. Cellular Communications Using Aerial Platforms.//IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 50, NO. 3, MAY 2001.

15. Учебно-методическое пособие к выполнению практической работы «Расчёт естественного и искусственного освещения производственных помещений» .- Уфа: 2010-32с.

16. Кантор Л.Я. Оценка частотно-орбитального ресурса, занимаемого сетями ФСС Ka диапазона // Перспективы использования Ka-диапазона частот спутниковыми системами радиосвязи – 2012 – 2-12.

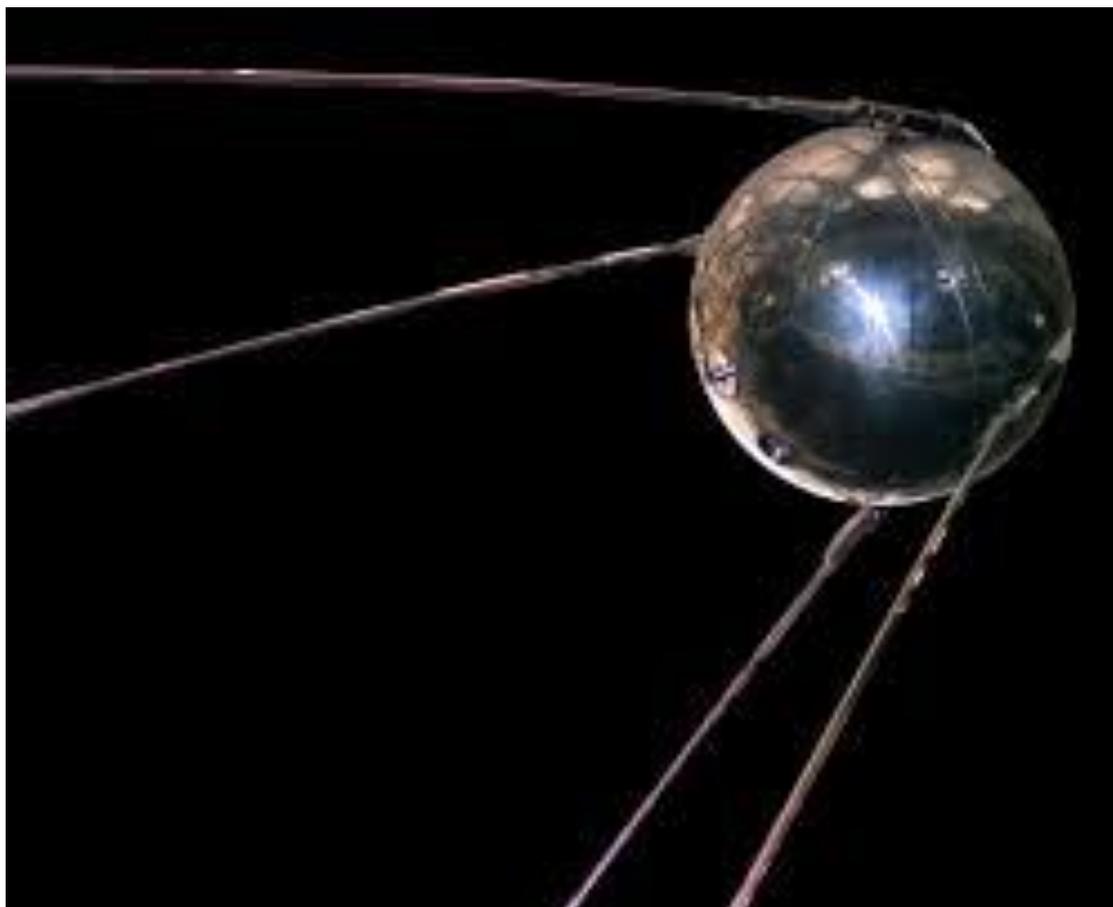
17. Слюсар В.И. Фазированная антенная решетка системы Thuraya // Сети и телекоммуникации - 2002, № 5, С. 54–58.

18. Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки в мобильной спутниковой связи // Первая миля - 2008, № 4, С. 10-15.

19. Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки в мобильной спутниковой связи // Первая миля - 2008, № 5, С. 16-20.

20. Анпилогов В.Р., Афонин А.А. Методика вероятностной оценки пропускной способности многолучевой сети массового обслуживания // Электросвязь. – 2011, № 7. С. 45-47.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Эхо-1

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

The screenshot shows the Mathcad software interface. The title bar reads "Mathcad - [Безымянный:1]". The menu bar includes "Файл", "Правка", "Вид", "Вставить", "Формат", "Инструменты", "Символика", and "Окно". The toolbar contains various icons for file operations, editing, and mathematical functions. The main workspace displays the following calculation:

$$Q := \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{S \cdot \sin(\alpha)}{L^2}\right) \cdot \left(\frac{1}{\theta^2}\right)$$

Below the formula, the variables are defined:

$$S := 2.6 \cdot 10^5 \quad \alpha := 0.63 \quad \theta := 0.7 \quad L := 42000$$

The result of the calculation is shown in a box:

$$Q = 9.248$$

A small context menu is visible over the result, titled "Вычис...", with options: "=", ":", "=", "→", "→ f x", "x f", "x f y", and "x<sup>f</sup> y".

Расчет (2.1) формулы на Mathcad-е

На территорию Республики Казахстан потребуются примерно 9 лучей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

The screenshot shows the Mathcad interface with the following content:

**Equation:**

$$F(uv) := \left( \frac{1}{M \cdot N} \right) \left| \frac{\sin\left(\frac{M \pi d \cdot u}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{\pi d \cdot u}{\lambda}\right)} \right| \left| \frac{\sin\left(\frac{N \pi d \cdot v}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{\pi d \cdot v}{\lambda}\right)} \right|$$

**Parameters:**

$dx = 0.2\lambda$       $M = 1$       $\pi = 3.14$   
 $dy = 0.5\lambda$       $N = 2$       $\lambda = 0.12m$

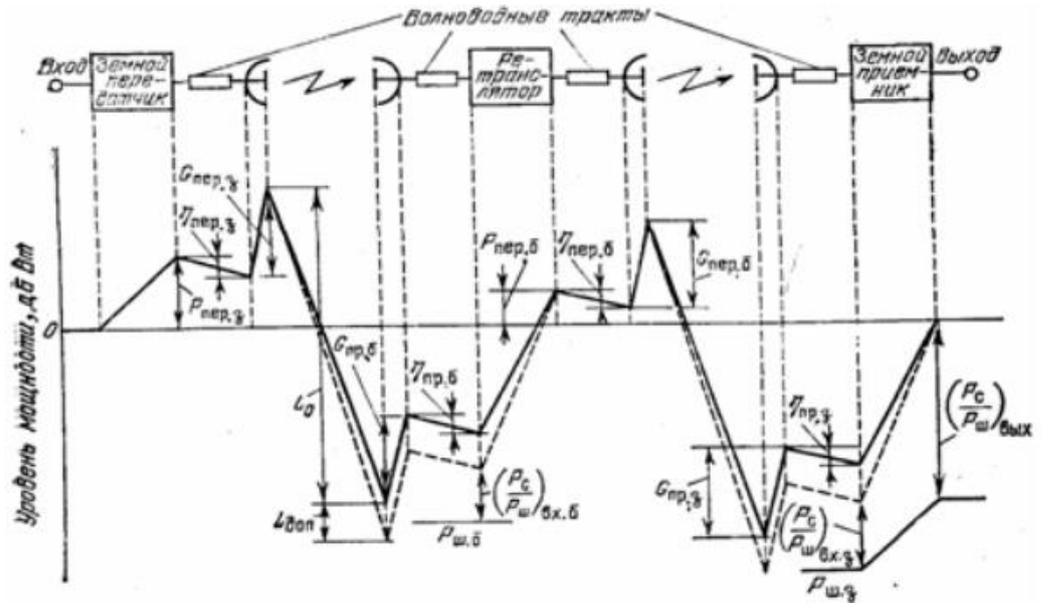
**Result:**  $F = 2.5$

**Windows:**

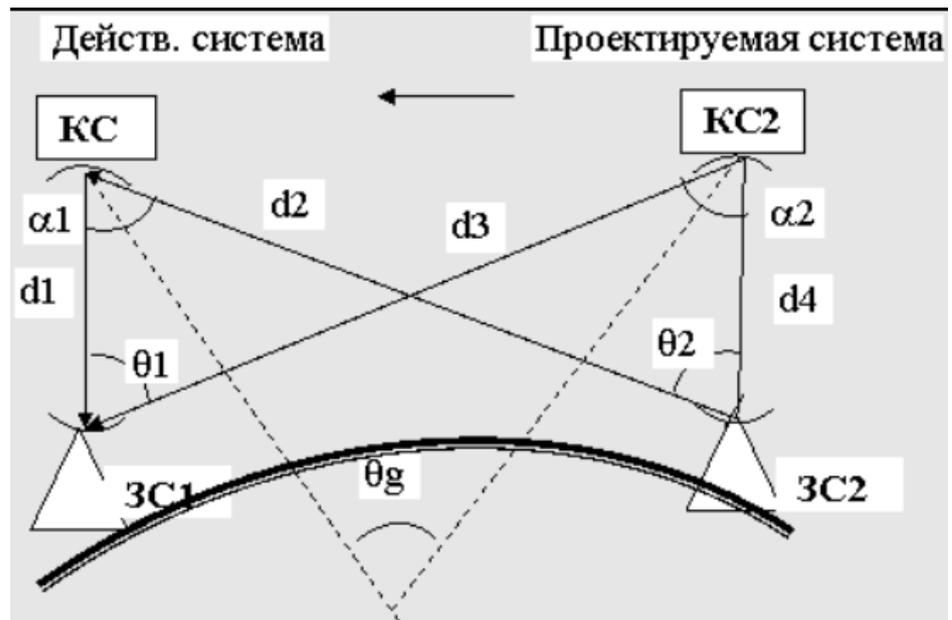
- Калькулятор (Calculator):** sin, cos, tan, ln, log, nl, i, |x|, √, √, e<sup>x</sup>, 1/x, (), x<sup>2</sup>, x<sup>y</sup>, π, 7, 8, 9, /, 1/4, 4, 5, 6, ×, ÷, 1, 2, 3, +, =, ., 0, -, =
- Вычис... (Evaluate):** =, :=, =, →, →, f x, x f, x i y, x f y
- Греческие (Greek):** α, β, γ, δ, ε, ζ, η, θ, ι, κ, λ, μ, ν, ξ, ο, π, ρ, σ, τ, υ, φ, χ, ψ, ω, Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η, Θ, Ι, Κ, Λ, Μ, Ν, Ξ, Ο, Π, Ρ, Σ, Τ, Υ, Φ, Χ, Ψ, Ω

Расчет (2.2) формулы на Mathcad-е

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г



На данной схеме приняты обозначения:



$d_1 \dots d_4$  – расстояния между станциями;

$\theta_1, \theta_2$  – топоцентрические углы;

$\alpha_1, \alpha_2$  – экзоцентрические углы;

$g$  – геоцентрический угловой разнос между спутниками.

$\gamma$  – коэффициент, численно равный коэффициенту передачи пути от выхода приемной антенны КС1 к выходу приемной антенны ЗС1 (обычно меньше 1);

$T_{\Sigma}$  - эффективная шумовая температура приемного тракта ЗС2 (без учета мешающего влияния).

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Расчет скорости передачи информации к 3.2 в приложении Mathcad

The screenshot shows the Mathcad software interface with the following content:

**Main Window:**

$$V := \frac{I}{t} \quad t := 16 \quad I := 0.4 \text{ MB}$$
$$I := 0.4 \cdot 8000000$$
$$I = \# 3200000$$
$$V = \# \frac{3200000}{16}$$
$$V = \# 200000$$
$$V := \frac{200000}{1000}$$
$$V = \# 200$$
$$I := V \cdot t$$
$$I := 1 \cdot 10$$
$$I := 10 \text{ MBite}$$
$$I := 10 \cdot 125$$
$$I = \# 1250 \text{ KiloBite}$$
$$t := \frac{I}{V}$$
$$1 \text{ GB} = \# 8000000 \text{ bit}$$
$$t := \frac{8000}{10}$$
$$t = \# 800 \text{ sec}$$

**Калькулятор (Calculator):**

sin	cos	tan	ln	log
nl	i	x	Γ	Γ
e <sup>x</sup>	1/x	()	x <sup>2</sup>	x <sup>y</sup>
π	7	8	9	/
1/4	4	5	6	x
÷	1	2	3	+
:=	.	0	-	=

**Вычис... (Calculate):**

=	:=	=
→	↔	f(x)
x <sup>f</sup>	x <sup>f</sup> y	x <sup>f</sup> y

**Греческие (Greek letters):**

α	β	γ	δ	ε	ζ
η	θ	ι	κ	λ	μ
ν	ξ	ο	π	ρ	σ
τ	υ	φ	χ	ψ	ω
Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ
Η	Θ	Ι	Κ	Λ	Μ
Ν	Ξ	Ο	Π	Ρ	Σ
Τ	Υ	Φ	Χ	Ψ	Ω

Расчет формул на Mathcad-е

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

**Расчет капитальных затрат по запуску спутника и установке необходимого оборудования:**

$$K_{\Sigma} = K_C + K_O + K_M + K_{TP} + K_P \quad (1.1)$$

$K_O$  -капитальные вложения на приобретение оборудования для обслуживания спутника;

$K_C$ -капитальные вложения на приобретение спутника;

$K_M$ -расходу по монтажу оборудования;

$K_{TP}$ -транспортные расходы;

$K_P$ -стоимость работ по адаптации, установке, обучению пользователей и вводу системы эксплуатацию.

Транспортные расходы составляют 20% от стоимости оборудования:

$$K_{TP} = K_O * 0.2 \quad (2)$$

Стоимость адаптации, установки, тестирования обучения и ввода системы в эксплуатацию составляет 0,5% от стоимости оборудования:

$$K_P = K_O * 0.005 \quad (2.1)$$

Установка оборудования составляет 25% от стоимости оборудования:

$$K_M = K_O * 0.25 \quad (2.2)$$

В пример можем взять малый спутник до 300 кг.

$K_O \approx 4,5$ \$млн.-оборудование для спутника

$K_C \approx 15,1$ \$млн.-приобретение спутника

Подставив данные в формулу 2, 2.1,2.2 выйдут:  $K_{TP} \approx 900000\$$ ;  $K_P \approx 75500\$$ ;  $K_M \approx 1125000\$$ ;

$$K_{\Sigma} = 15100000 + 4500000 + 75500 + 900000 + 1125000 = 21\,700\,500\$$$

Расчет эксплуатационных расходов составлен из следующих статей:

- Фонд зарплаты труда;
- Амортизационные отчисления;
- Оплата электроэнергии;
- Расходы на материалы и запасные части;
- Прочие затраты.

Чтобы рассчитать фонд заработной платы работников, можно использовать следующую формулу:

$$\Phi OT = Z_{cp} * N_{раб} * n_{мес} \quad (3.1)$$

$Z_{cp}$ -средняя заработная плата

$N_{раб}$ -количество работников

$n_{мес}$ -количество месяцев в году

Таким образом, не имея информацию о штате сотрудников, высчитать фонд заработной платы невозможно. Допустим у нас есть один старший инженер, два инженера-программиста, старший электромеханик и два электромеханика.

Таблица 1.1 - Исходные данные для расчета

Должность	Количество	Месячный оклад, тенге
Старший инженер	1	270000
Инженер-программист	2	200000
Старший электромеханик	1	250000
Электромеханик	2	175000
Итого	6	1 270 000

$$\Phi OT = 211\,666 * 6 * 12 = 15\,240\,000 \text{ тенге}$$

Амортизационные отчисления за срок использования:

$$A = \frac{H_a * \Sigma K}{100} \quad (3.2)$$

$H_a$ -норма амортизации %

$\Sigma K$ -общие капитальные затраты на оборудование

В среднем работоспособность малых спутников равна 10 годам, значит норма амортизации будет равна  $1/10=0.1$

$$A=21\,700\,500*0.001=21\,700,5\$$$

Затраты на электроэнергию для производственных нужд высчитаем по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{эл}} + \mathcal{E}_{\text{доп}} \quad (3.3)$$

$\mathcal{E}_{\text{эл}}$ -затраты на электроэнергию для оборудования

$\mathcal{E}_{\text{доп}}$ -затраты на дополнительные нужды

$$\mathcal{E}_{\text{эл}} = W * S * 30 * 12 \quad (3.4)$$

$W=35$ кВт, за 1 кВт установленной мощности тариф равен 4,49 тенге.

30-количество рабочих дней в месяце;

12-количество месяцев в году.

$$\mathcal{E}_{\text{эл}} = 35 * 4,49 * 30 * 12 = 56\,574 \text{ тенге}$$

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = 0.1 * 45\,473 = 4547,3 \text{ тенге}$$

$$\mathcal{E} = 56574 + 4547,3 = 61121,3 \text{ тенге}$$

Расходы на материалы и запасные части составляют около 5% от общих капитальных затрат на оборудование, таким образом:

$$\mathcal{E}_{\text{мат}} = \Sigma K * 0,05 = 21700500 * 0,05 = 1\,085\,025\$$$

Прочие затраты составляют 5% от всей суммы затрат:

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = \frac{22839125,5 * 5}{95} = 1\,202\,059,24\$$$

В общем годовые эксплуатационные расходы составили 24 041 184,7\$

Теперь посчитаем доходы основной деятельности:

$$D_{\text{од}} = N_a * m \quad (3.5)$$

$N_a$ -общее количество пользователей;

$m$ -средний тариф.

$$D_{\text{од}} = 1000000 * 2000 = 2\,000\,000\,000 \text{тенге} \approx 4\,293\,780,4\$$$

Таким образом годовой доход составит 51 525 364,8\$, общая сумма может меняться как в меньшую так и в большую сторону в зависимости от количества абонентов и цены тарифа. Я взял среднюю цену тарифов по Казахстану.

Имея данные о доходах и затратах, можно высчитать показатель эффективности, отняв от дохода расходы.

$$P_{\text{од}} = 51\,525\,364,8 - 24\,041\,184,7 = 27\,484\,180,1\$$$

Высчитаем рентабельность по формуле:

$$P_z = \frac{P_{\text{од}}}{\mathcal{E}} * 100\% = \frac{27\,484\,180,1}{24\,041\,184,7} * 100\% = 114,32\%$$

Для вычисления срока окупаемости инвестиционного проекта используем формулу:

$$T = \frac{1}{E} \quad (3.6)$$

Е высчитываем по формуле:

$$E = \frac{P_{\text{чист}}}{K_{\text{общ}}} \quad (3.7)$$

В свою очередь  $P_{\text{чист}}$  считается по следующей формуле, а  $K_{\text{общ}}$  это полная стоимость основных фондов:

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{од}} - P_{\text{од}} * 0,2 \quad (3.8)$$

$$K_{\text{общ}} = 21\,769\,647,6\$; P_{\text{чист}} = 21\,987\,344,1\$$$

$$E=1,01$$

Теперь вычитываем Т:

$$T=0,99.$$

Вывод: Таким образом, анализируя этот расчет, можно предположить, что проект окупит себя примерно за 11 месяцев.

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Қуанғали Диас Нұрланұлы

5В074600- Космическая техника и технологии

На тему: «Проектирование систем связи с зонным обслуживанием»

Выполнено:

- а) графическая часть на 20 листах
- б) количество страниц дипломной работы 54 страниц

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В расчетном разделе были рассчитаны следующие параметры:

Количество лучей для территории РК, расчет диаграммы направленности для одного луча, расчет скорости передачи информации, расчет капитальных затрат для запуска спутника с зонным обслуживанием и проектирование спутниковой системы связи.

Целью дипломной работы является исследование и применение Каддиапазонов в проектировании систем спутниковой связи с зонным обслуживанием.

Структура работы представлена тремя главами, а также заключением, списком использованной литературы и приложением. В первой главе были описаны основные понятия связанные с спутниковой системой связи. Во второй главе были описаны системы антенн, приведены пару расчетов. В третьей главе представлено проектирование систем спутниковой связи с зонным обслуживанием, расчет скорости передачи данных. В приложении также приложен дополнительный расчет по капитальным затратам.

### Оценка работы

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

Дипломная работа выполнена на оценку 95 «Отлично», а дипломант, Қуанғали Д.Н. достоин степени бакалавра специальности 5В074600-Космическая техника и технология.

Научный руководитель  
Кафедры ЭКиКТ каф.лектор  
 Боранбаева А.  
« 25 » 05 2022г.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

**РЕЦЕНЗИЯ**

на дипломную работу  
Куанғали Диас Нұрланұлы  
5B074600- Космическая техника и технологии

На тему: **Проектирование систем связи с зонным обслуживанием**

Выполнено:

- а) графическая часть на 20 листах
- б) пояснительная записка на 54 страницах

**ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ**

В расчетном разделе были рассчитаны следующие параметры:

Количество лучей для территории РК, расчет диаграммы направленности для одного луча, расчет скорости передачи информации, расчет капитальных затрат для запуска спутника с зонным обслуживанием и проектирование спутниковой системы связи.

Целью дипломной работы является исследование и применение Кадиапазонов в проектировании систем спутниковой связи с зонным обслуживанием.

Структура работы представлена тремя главами, а также заключением, списком использованной литературой и приложением. В первой главе были описаны основные понятия, связанные с спутниковой системой связи. Во второй главе были описаны системы антенн, приведены пару расчетов. В третьей главе представлено проектирование систем спутниковой связи с зонным обслуживанием, расчет скорости передачи данных. В приложении также приложен дополнительный расчет по капитальным затратам.

**Оценка работы**

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

Дипломная работа выполнена на оценку 5 (отлично), а дипломант, Куанғали Диас достоин степени бакалавра специальности 5B074600 – Космическая техника и технологии.

**Рецензент**

Доктор технических наук, профессор  
Южно-Казахстанского  
университета им. М. Ауэзова

Есмагамбетов Б.С.

«30»



2022 г.

**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: Қуанғали Диас Нұрланұлы**

**Тақырыбы: Космическая радиация и методы защиты**

**Жетекшісі: Ерлан Таштай**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 15**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 3.5**

**Дәйексөз (35): 1.1**

**Әріптерді ауыстыру: 14**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 36**

**Ақ белгілер: 1**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі 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:**

27.05.2022  
Күні

Кафедра меңгерушісі



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Куанғали Диас Нұрланұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Космическая радиация и методы защиты

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 15

**Коэффициент Подобия 2:** 3.5

**Микропробелы:** 36

**Знаки из здругих алфавитов:** 14

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 1

**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:

17.05.2022  
Дата

  
Маркоулис  
проверяющий эксперт

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Куанғали Диас Нұрланұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Космическая радиация и методы защиты

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 15

**Коэффициент Подобия 2:** 3,5

**Микропробелы:** 36

**Знаки из других алфавитов:** 14

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 1

**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:

27.05.2022  
Дата

Заведующий кафедрой 