МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра «Телекоммуникационных систем»

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой ТКС

_____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____ «_____»_____ 2014г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование спутниковой системы связи с земным обслуживанием

Специальность 5В074600 «Космическая техника и технологии»

Выполнил (а) Жукенбаева Т.Е. ТКС-10-01
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель доцент Ползик Е.В.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:
Бойко А.А. старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «26» мая 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Досшев М.К. д.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «26» мая 2014г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
Артюхин А.В. старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «27» мая 2014г.
(подпись)

Ползик Е.В., доцент
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «25» мая 2014г.
(подпись)

Нормоконтролер: ст. преп. Кенгуратова А.Л.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «2» 06 2014г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____ 20___г.
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Теплоэнергетический
Специальность Космическая техника и технологии
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Жукенбаева Т.Е
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Проектирование спутниковой системы связи с зоновым обслуживанием.

утверждена приказом ректора № ___ от «___» сентября 20___ г.
Срок сдачи законченной работы «___» _____ 20___ г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

Республика Казахстан, площадь $2,6 \cdot 10^5$ км^2
Частотные диапазоны: Ku (10,70 – 12,75) и (12,75 – 14,80); Ka (15,40 – 26,50 и 27,00 – 30,20).
Геостационарные спутники связи с зоновым обслуживанием.
Скорость передачи информации: 200 кбит/с, 1 Мбит/с, 10 Мбит/с.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

Обзор существующего положения в спутниковых системах связи.
Необходимость перехода в Ka диапазон
Описание используемой технологии спутниковой связи
Расчет параметров ДН и геометрии зеркала
Энергетический расчет спутниковой линии связи „вниз"
Энергетический расчет спутниковой линии связи „вверх"
Энергетический расчет спутниковой линии связи „вверх" для мобильных абонентов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Системы, использующие МЛ на GEO-, MEO-, LEO-орбитах
Диапазон частот спутниковых систем связи
Сравнение затухания
3D-модель проектируемой МЛ
Вариант компоновки КА с приемной и передающей МЛ
Фазированная антенная решетка
Двумерный массив излучателей из M×N элементов
ДН антенной решетки
Космический аппарат Тинаха
Приемный, передающий сегменты цифровой антенной решетки
Диаметр геометрии зеркала
Графики сравнения мощности передатчиков в Ka и Ku диапазонах

Рекомендуемая основная литература

Н.А. Бугаев, Е.В. Лазик. Системы спутниковой связи // Учебное пособие - Алматы 2007.
Журнал "Технологии и средства связи" № 1, 2012
Перспективы развития спутниковой связи на основе негеостационарных спутников.
Журнал "Спутниковая связь и вещание" - 2013
Достижения и перспективы Ka-диапазона
Журнал "Спутниковая связь и вещание" - 2010
Спутниковая система связи и вещания Ka-диапазона
Сиссар В.И. Цифровые антенные решетки в системах спутниковой связи // Первая миля - 2008, № 4.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
ОТиСЗ	Дисебаев Н.К.	17.03-28.05.14	
Экономическая часть	Грабко О.А.		
Спец. часть	Лазик Е.В.	25.05.2014	
ВТ	Артюхин А.В.	12.05-27.05.14	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Обзор существующего положение	20.03 - 30.03	
2.	Описание используемой технологии	05.04 - 15.04	
3.	Расчет параметров ДН и геометрии зеркала	16.04 - 25.04	
4	Энергетический расчет спутниковой линии связи „вниз", „вверх"	27.04 - 10.05	
5.	Энергетический расчет спутниковой линии связи „вниз", „вверх" для мобильных абонентов	12.05 - 20.05	
6.	Подготовка раздела БЖД	20.05 - 30.05	
7.	Подготовка раздела Экономика	30.05 - 05.06	

Дата выдачи задания «20» март 2014 г.

Заведующий кафедрой _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Поздик Е.В
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Жукембаева Т.Е.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Берілген дипломдық жобада Қазақстанда геостационарлық орбиталарды қолданатын жер серіктерінің байланыс жүйесін жобалауда Ка диапазонын пайдалану сұрағы қарастырылады.

Ка диапазон жиілігін Қазақстанда енгізу сараптамасы жүргізілді, аймақтық сәулелерді қалыптастыратын антенна жүйелеріне шолу жасалды. Жер серігінің жүйесінің байланыс сызығының энергетикалық сипаттамалары, хабарлағыштың қуаты, сонымен қатар қабылдайтын нүктедегі сигнал қуаты есептелді, Қазақстан жерін толығымен жабатын сәулелердің саны анықталды.

«Өміртіршілік қауіпсіздігі» бөлімінде еңбек шартына талдау жүргізілді. Алынған деректердің негізінде жасанды табиғи және жасанды жарықтандыру есептелінді.

«Экономикалық бөлімде» байланыс базарына сараптама жасалынды, жобаланған жүйенің толық өтелу мерзімімен қоса бизнес-жоспар ұсынылды.

Аннотация

В представленном дипломном проекте рассматривается вопрос использования Ка диапазона в проектировании спутниковых систем связииспользующих геостационарные орбиты для Казахстана.

Проводится анализ внедрения Ка диапазона частот в Казахстане, обзор антенных систем формирующих зональные лучи. Рассчитываются энергетические характеристики линии связи спутниковых систем, мощности передатчиков, а также мощность сигнала в точке приема, количество зональных лучей для покрытия территории Казахстана.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» проведен анализ условий труда. На основании полученных данных сделаны расчеты по естественному и искусственному освещению.

В разделе «Экономика» был произведен анализ рынка связи и представлен бизнес-план проектируемой системы с указанием срока окупаемости проекта.

Annotation

In the presented diploma project considers the use of the Ka band in the design of satellite communication on geostationary orbits for Kazakhstan.

The analysis of implementation of the Ka band in Kazakhstan, a review of antenna systems, that create area rays. Calculated energy characteristics lines satellite communication systems, transmitter power, power receivers and the number area rays for covering territory Kazakhstan.

In the section "safety" the analysis of working conditions. Based on the obtained data calculations are made by natural and artificial lighting.

In section "Economy" the analysis of the market communication was made and the business plan was presented of designed system with indication the term of payback of the project.

Содержание

Введение 7
1 Обзор существующего положения 8
1.1 Основные показатели спутниковых систем связи 8
1.1.1 Эллиптическая орбита 9
1.1.2 Низкие круговые орбиты 10
1.1.3 Средневысотные орбиты 11
1.1.4 Геостационарные орбиты 12
1.2 Преимущества и недостатки геостационарной орбиты 15
1.3 Назначение спутниковых систем связи 17
1.4 Диапазон частот спутниковых систем связи 17
1.4.1 Необходимость перехода в Ка диапазон, его преимущества и недостатки 18
1.4.2 Технологии спутниковых систем связи 23
2 Описание используемой технологии 30
2.1 Антенны спутниковых систем радиосвязи 30
2.2 Особенности формирования ДН антенных решеток 35
2.3 Используемые новые технологии 39
3 Расчетная часть 47
3.1 Расчет параметров ДН и геометрии зеркала 47
3.2 Проектирование и расчет спутниковой линии связи 50
3.2.1 Энергетический расчет спутниковой линии связи «вниз» 52
3.2.2 Энергетический расчет спутниковой линии связи «вверх» 56
3.2.3 Энергетический расчет линии «вниз» для мобильных абонентов 57
3.2.4 Энергетический расчет линии «вверх» для мобильных абонентов 59
4 Безопасность жизнедеятельности 62
4.1 Анализ условий труда 62
4.2 Анализ естественного освещения 64
4.3 Анализ искусственного освещения по методу коэффициента светового потока 68
4.3.1 Расчет искусственного освещения точечным методом 69
5 Бизнес –план 72
5.1 Цель и задачи бизнес-плана 72
5.2 Финансовый план 73
5.2.1 Расчет капитальных вложений 73
5.2.2 Эксплуатационные расходы 74
5.2.3 Расчет экономического эффекта и показателей экономической эффективности 77
5.3 Вывод по разделу экономика 83
Заключение 84
Список использованной литературы 85
Приложение А 87
Приложение Б 87

Введение

С начала существования систем спутниковой связи заняли лидирующее место в мире среди средств связи. Высокоскоростной доступ в Интернет, а также быстрая передача данных стали важной частью в жизни людей. Спутниковая связь, телевещание находятся в начале нового витка развития, который характеризуется переходом к спутниковым системам массового обслуживания. К таким системам относятся системы, которые реализуются на основе геостационарных спутников связи, а также спутниковые системы ШПД.

Для организации систем ШПД перспективен Ка-диапазон, так как предлагает дополнительный частотный диапазон в уже занятых спутниковых позициях. Использование этой технологии позволит быстро и недорого обеспечить спутниковые системы ШПД.

Целью работы является применение Ка диапазона в проектировании спутниковой связи на геостационарных орбитах в Казахстане.

Задачей дипломной работы является анализ внедрения Ка диапазона частот в Казахстане, так как он является новым диапазоном с более широкими возможностями, обзор антенных систем для МЛА, а также проведение сравнительного энергетического расчета. Ка-диапазон может решить проблему недостачи спутникового сегмента, которая замедляла развитие спутниковой системы связи в Ku-диапазоне. Появление спутников Ка-диапазона с массовым обслуживанием обеспечило этой отрасли дополнительный частотный диапазон, использование которого становится сравнительно дешевле, чем использование емкости Ku- или С-диапазонов в традиционном использовании. В качестве примера можно отнести европейский рынок, где применение Ка-диапазона обеспечивает высокую скорость передачи данных, доступную для конечного абонента, — до 20 Мбит/с — по привлекательной цене, при этом спутниковой емкости вполне достаточно для обслуживания сотен тысяч и даже миллионов абонентов.

Актуальность темы обосновывается тем , что в указанном диапазоне устраняются проблемы совмещения с радиоэлектронными средствами фиксированной спутниковой связи, требующими защиты от помех со стороны систем спутниковой связи и телевещания, а также развития спутниковых систем для предоставления высокоскоростного доступа в Интернет и услуг мультимедиа корпоративным и индивидуальным клиентам. Спутники Ка-диапазона открывают новейшие перспективы для развития отрасли спутниковых коммуникаций.

1 Обзор существующего положения

1.1 Основные показатели ССС

Выделяют следующие виды радиосвязи- радиорелейной, тропосферной, ионосферной, сотовой и транкинговой. Спутниковые системы связи существенно отличаются от других видов радиосвязи. В радиорелейных системах связи расстояние между станциями определяется наличием прямой видимости между мобильными абонентами и типами трассы (открытая, полуоткрытая, закрытая). В системах загоризонтной радиосвязи протяженность линии зависит от состояния тропосферы или ионосферы, поскольку маневр этих систем реализовано на явлении рассеяния радиоволн на неоднородностях в тропосфере (ионосфере) или отражения от верхних слоев ионосферы. Размер зоны видимости сотовых и транкинговых систем зависит от высоты подъема антенны основной станции. Основными показателями в системах спутниковой связи , определяющим размеры рабочей зоны, являются типы орбит и их характеристики. Таблица 1.1. дает возможность оценить достоинства и недостатки спутниковых систем, использующие КА на различных орбитах.

Т а б л и ц а 1.1 - Системы, использующие КА на GEO-, MEO-, LEO-орбитах.

Показатель	GEO	MEO	LEO
Высота орбиты ,км	36000	5000-15000	500-2000
Количество КА в ОГ	3	8-12	48-66
Зона покрытия одного КА(угол радиовидимости 50), % от поверхности Земли	34	25-28	3-7
Время пребывания КА в зоне радиовидимости (в сутки)	24 ч	1,5-2 ч	10-15 мин
Задержка при передаче речи, мс			
Региональная связь	500	80-130	20-70
Глобальная связь	600	250-400	170-300
Время переключения, мин			
С одного спутника на другой	Не требуется	50	8-10
Из одного луча в другой	10-15	5-6	1,5-2,0
Угол радиовидимости КА на границе зоны обслуживания, 0	5	15-25	10-15

По типу используемых орбит все ССС делятся на два класса — системы с космическими аппаратами (КА) на геостационарной орбите (GEO) и на

негеостационарной орбите. В свою очередь, негеостационарные орбиты подразделяются на низкоорбитальные (LEO), средневысотные (MEO) и эллиптические (HEO). Так, явный недостаток низкоорбитальных систем - большое количество КА, необходимых для охвата всей территории Земли. Но небольшая высота (относительно GEO) КА позволяет использовать небольшие космические станции, изготовление и вывод на орбиту которых намного дешевле спутников выводимых на геостационарную орбит [1].

Орбитой называется траектория движения искусственного спутника Земли. После вывода спутника на орбиту ракетные двигатели выключаются, и спутник, как и всякое небесное тело, движется по инерции и при воздействии гравитационных сил, главная из которых - притяжение Земли.

1.1.1 Эллиптическая орбита

К основным параметрам, характеризующим тип эллиптической орбиты, относятся период обращения (Т) спутника вокруг Земли и его эксцентриситет (е, показатель эллиптичности орбиты). В настоящее время применяются несколько типов эллиптических орбит с большим эксцентриситетом — Borealis, Archi-medes, "Молния", "Тундра" (таблица 2). Эти орбиты являются синхронными, поскольку спутник, который выводится на эллиптическую орбиту, вращается со скоростью Земли и имеет период обращения, который кратен времени суток.

Для спутников, которые находятся на эллиптической орбите свойственно то, что их скорость в апогее меньше, чем в перигее. Следовательно, спутник находится в зоне видимости выбранной области в течение более длительного времени, чем КА , который находится на круговой орбите.

КА "Молния" на эллиптической орбите (апогей 40 тысяч. км, перигей 460 км, наклонение 63,50) создает длительность связи продолжительностью 8—10 ч, Эллиптические орбиты с низким апогеем, например Borealis (апогей 7840 км, перигей 520 км) или Archimedes (апогей 26 737 км, перигей 1000 км), применяются для обеспечения региональной связи.

Т а б л и ц а 1.2 - Типы эллиптических орбит и их основные параметры

Тип орбиты	Высота апогея, км	Период обращения, ч	Число витков в сутки
Borealis	7840	3	8
Archimedes	28000	8	3
"Молния"	40000	12	2
"Тундра"	71000	24	1
Высота перигея для всех указанных типов орбит составляет 500 км.			

Спутник с более низким апогеем имеет свои преимущества . У спутника на эллиптической орбите более точные энергетические характеристики. Но КА с низким апогеем проигрывает спутникам на высокоэллиптических орбитах в продолжительности сеансов. Для создания непрерывной круглосуточной радиосвязи с применением синхронно-солнечных орбит Borealis потребуется не менее 8 КА (расположенных в двух орбитальных плоскостях по четыре спутника в каждой плоскости). Они смогут обслуживать абонентов при углах радиовидимости спутника не менее 250.

Системы со спутниками на эллиптических орбитах имеют "природные" ограничения. Точность местоположения спутника на эллиптической орбите реализуется только при двух величинах наклонения плоскости орбиты к экватору — 63,40 и 116,60. Это обасновывается наличием воздействия неоднородностей гравитационного поля Земли. Поэтому большая ось эллиптической орбиты переносит вращательный момент, и в итоге создаются колебания широты подспутниковой точки в апогее. Следующий фактор, который влияет на подбор параметров эллиптических орбит, который связан с обязанностью принимать во внимание неблагоприятные воздействия радиационных поясов Ван-Аллена, которые обязательно рассекает спутник во время своего маневра по орбите[1].

1.1.2 Низкие круговые орбиты

В зависимости от величины наклонения плоскости орбиты относительно плоскости экватора подразделяют низкие экваториальные (наклонение 00), полярные (наклонение 900) и наклонные орбиты. Спутниковые системы с низкими наклонными и полярными орбитами существуют уже около 30 лет и используются в основном для научно-исследовательских целей, дистанционного зондирования, навигации, метеорологических наблюдений, фотографирования поверхности Земли. Для реализации мобильной и персональной связи эти системы стали применятся только в последние 5—7 лет. Сегодня наиболее тщательно осваиваются низкие наклонные и полярные орбиты высотой 700—1500 км, а также экваториальные высотой 2 тыс. км.

Спутники, которые находятся на низких орбитах имеют несколько преимуществ перед другими спутниками по энергетическим параметрам, но проигрывают им в продолжительности сеансов радиосвязи и времени (t) активного существования спутника. Если период обращения (T) КА составляет 100 мин, тогда в среднем 30% времени он остается на теневой стороне Земли. Аккумуляторные бортовые батареи переносят около 5 тыс. циклов зарядки или разрядки в течении года, и в итоге срок их службы, как правило, не превосходит 5—8 лет.

Подбор диапазона высот от 700 до 2 тысяч км для низкоорбитальных спутниковых систем неспроста. На орбитах высотой не более 700 км плотность атмосферы относительно высока, и в итоге возникают колебания эксцентриситета и деградации орбиты (постепенное снижение высоты апогея). С одной стороны, снижение высоты орбиты приводит к повышению числа штатных действии для сохранения предлагаемой орбиты, а следовательно, к увеличению расхода топлива.

С другой стороны, на орбитах не менее 1,5 тыяч. км, где находится первый радиационный пояс Ван-Аллена, длительная работа электронной бортовой аппаратуры нереальна, если не применить специальные методы защиты от радиационного излучения. Использование этих методов ведет к существенному усложнению бортовой аппаратуры и увеличению массы спутника.

С уменьшением высоты орбиты, уменьшается и его мгновенная зона обслуживания, и в итоге, для глобального захвата потребуется значительно большее количество КА. Если низкоорбитальная спутниковая система должна обеспечивать глобальную радиосвязь с непрерывным массовым обслуживанием, то нужно, чтобы в орбитальную группировку входило более 48 спутников. Период обращения (Т) КА на этих орбитах составляет от 90 мин до 2 ч, а максимальное время пребывания (t) спутника в зоне радиовидимости не превышает 10—15 мин[2].

1.1.3 Средневысотные орбиты

КА, которые находятся на средневысотных орбитах первыми начали создавать компании, которые традиционно выпускают геостационарные спутники. Средневысотные спутниковые системы создают более качественные параметры обслуживания подвижных абонентов, чем геостационарные системы, так как в поле зрения абонента одновременно находится большое количество спутников. За счет этого создается случай увеличения минимальных угол видимости спутника до 25—30^0.

Так, радиовидимость двух спутников в системе ICO обеспечивается в течение 95% суточного времени, причем хотя бы один из ее КА виден под углом более 300. А это, в свою очередь, позволяет снизить дополнительный энергетический запас радиолинии, необходимый для компенсации потерь на распространение в ближней зоне (при наличии в ней деревьев, зданий и других преград)[2].

Тем не менее при подборе месторасположения негеостационарной орбитальной группы (ОГ) следует принимать во внимание природные ограничения— пространсвенные зоны заряженных частиц, взятых магнитным полем Земли, именуемые радиационные пояса Ван-Аллена. Главный надежный пояс высочайшей радиации наступает около на высоте 1,5 тысяч км

и расстилается до многих тыс. километров, и его "размах" овладевая примерно 300 по обе стороны от экватора. Следующий пояс настолько же высокой напряженности (10 тыс. имп./с) расстилается на высотах от 13 до 19 тыс. км, овладевая примерно 500 по обе стороны от экватора[1].

Дорога средневысотных КА протекает меж первоначальным и 2-ой поясами Ван-Аллена, т. е. в вышине от 5 до 15 тысяч километров. Область сервиса любого спутника значительно менее, нежели геостационарного, в следствии этого с целью всемирного охвата с единоразовым покрытием наиболее заселенных областей Земного шара и судоходных акваторий следует реализовать ОГ из 8—12 КА. Итоговая задержка сигнала при взаимосвязи через средневысотные КА составляет не наиболее 130 мс, что же дает возможность употреблять их с целью радиотелефонной взаимосвязи.

Подобным способом, средневысотные КА преобладают над геостационарных согласно энергетическим параметрам, однако терпят поражение им согласно длительности присутствия спутника в области радиовидимости наземных станций (1,5—2 ч).

Что же касается орбитального ресурса средневысотных КА, то он лишь незначительно меньше, чем у геостационарных. Период обращения спутника вокруг Земли для средневысотных круговых орбит составляет около 6 ч (при высоте 10 350 км), из которых в тени Земли КА находится лишь несколько минут. Это позволяет значительно упростить технологические решения, используемые в бортовой системе электропитания, и, в конечном счете, довести срок службы КА до 12—15 лет.

Системы со средневысотными КА обеспечивают лучшие, чем GEO-КА, характеристики обслуживания абонентов благодаря следующим особенностям. Они имеют большие углы радиовидимости, в зоне радиовидимости находится большее число спутников, а задержка при проведении сеансов связи составляет максимум 130 мс.

Структура систем на средневысотных орбитах (ICO, Spaceway NGSO, "Ростелесат") различается незначительно. Во всех этих системах орбитальная группировка создается примерно на одной и той же высоте (10 352—10 355 км) со сходными параметрами орбит[2].

1.1.4 Геостационарные орбиты

Большая часть имеющихся ССС применяют более доходную с целью размещения КА геостационарную орбиту, главными плюсами каковой представлены вероятность постоянной взаимосвязи в глобальной области сервиса и фактически абсолютный недостаток сдвига частоты.

В первоначальные года анализов применялись бездейственные спутниковые ретрансляторы, которые являлись отражателями радиосигнала (зачастую — металлическая либо полимерная сфера с металлическим

напылением). Подобные КА никак не приобрели распространения. КА нашего времени представлены интенсивными. Действующие ретрансляторы оборудованы электрической техникой с целью способа, обрабатывания, увеличения и ретрансляции сигнала. Спутниковые ретрансляторы бываютнерегенеративными и рекуперативным

- Нерегенеративный КА принимает сигнал от одной земной станции, выносит его в иную частоту, увеличивает и сообщает иной земной станции. КА имеет возможность употреблять некоторое количество самостоятельных каналов, которые реализуют эти действия, работающие с фиксированной частицей спектра (данные каналы обрабатывания именуются транспондерами).

- Регенерационный КА делает демодуляцию установленного сигнала и вновь преобразует его. Вследствие этого изменение погрешностей выполняется два раза: на КА и на принимающей земной станции. Минусы данного способа — трудность (а следовательно, значительно наиболее большая стоимость КА), а кроме того повышенная удержка передачи сигнала.

Проведенный анализ абсолютно всех орбит согласно главным признакам (область осмотра (взаимосвязи), область сервиса (использования), длительность сеанса взаимосвязи (способа данных), повторяемость извлечения данных) продемонстрировала, что более досконально соответствует данным вышеуказанным условиям геостационарная орбита.

Геостационарная орбита (ГСО) – это круговая орбита, которая находится в плоскости экватора Земли (0 град. широты), будучи на которой, КА вращается вокруг земли с угловой скоростью, одинаковой угловой скорости обращения Земли вокруг собственной оси, и всегда распологается над одном и том же месте земной плоскости. Геостационарная орбита представляется разновидностью геосинхронной орбиты и применяется с целью размещения искусственных спутников земли (коммуникационных, телетрансляционных и т.п.)

Спутник обязан вращаться в направлении вращения Земли, на высоте 35 786 километров над уровнем моря. Собственно подобный уровень высоты гарантирует КА период обращения (Т) , одинаковый периоду вращения (Т) Земли относительно звезд.[3]. При движении спутника по ГСО один виток совершается за 24 часа, то есть за период суточного вращения Земли, и для наблюдателя на земле он кажется неподвижным. Это позволяет использовать для связи со спутником высокоэффективные фиксированные узконаправленные антенны. Зона видимости геостационарного спутника составляет почти треть поверхности земли, что позволяет с их помощью обслуживать большие территории. Для обслуживания практически всей земной суши достаточно трех геостационарных спутников. Расстояние между земными станциями, работающими через такой спутник, может достигать нескольких тысяч километров. Недостатком геостационарной орбиты является большое расстояние между спутником и земной станцией. В результате этого происходит сильное затухание сигнала на линии земля-

космос, что ужесточает требования к чувствительности приемников и выходной мощности передатчиков. Кроме того, на таких расстояниях становится заметной задержка при распространении сигнала, составляющая около 0,25 сек при одном скачке. Спутник, находящийся на ГСО и движущийся со скоростью примерно 3 км/с , будет постоянно находиться над определенной точкой поверхности Земли. Схема расположения спутников на геостационарной орбите приведена на рисунке 1.1.

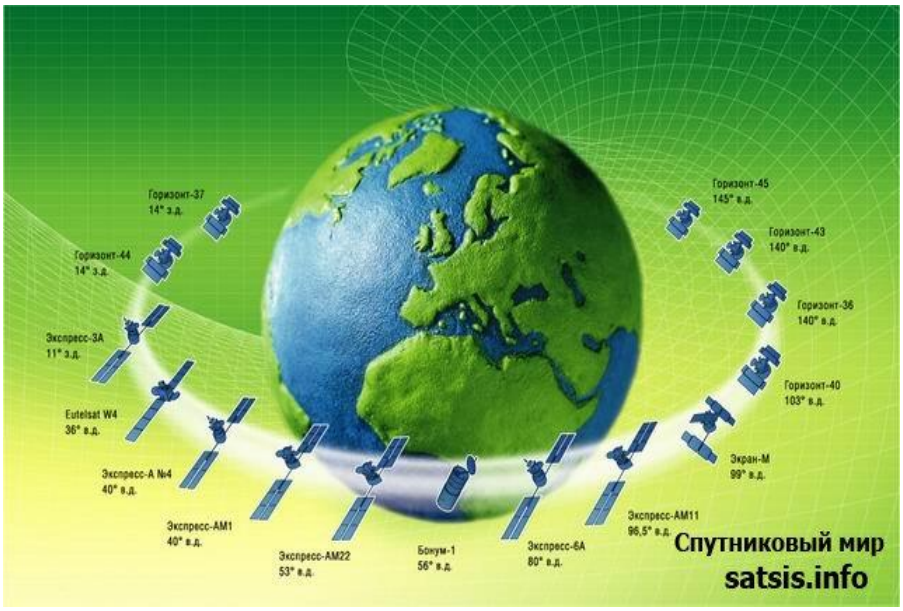


Рисунок 1.1 - Схема расположения спутников на геостационарной орбите

Спутник, находящийся на геостационарной орбите, неподвижен относительно поверхности Земли , поэтому его местоположение на орбите называется точкой стояния. В результате, сориентированная на спутник и неподвижно закреплённая направленная антенна может сохранять постоянную связь с этим спутником длительное время.

Однако такие системы имеют ряд недостатков, главный из которых — задержка сигнала. Спутники на геостационарных орбитах оптимальны для систем радио- и телевизионного вещания, где задержки в 250 мс (в каждом направлении) не сказываются на качественных характеристиках сигналов. Системы радиотелефонной связи более чувствительны к задержкам, а поскольку суммарная задержка в системах данного класса составляет около 600 мс (с учетом времени обработки и коммутации в наземных сетях), даже современная техника эхоподавления не всегда позволяет обеспечить связь высокого качества. В случае "двойного скачка" (ретрансляции через наземную станцию-шлюз) задержка становится неприемлемой уже более чем для 20% пользователей[1].

Бурное развитие спутниковой связи, особенно в последнее десятилетие, привело к тому, что на геостационарной орбите стало очень "тесно" и

возникли проблемы с размещением новых КА. Дело в том, что в соответствии с существующими международными нормами орбитальный разнос между геостационарными КА должен составлять не менее 10. Это означает, что на орбите можно разместить не более 360 спутников. Что же касается сокращения углового разноса между точками стояния КА на орбите, то на современном уровне развития техники это невозможно из-за взаимных помех. Зона покрытия мира спутниками на ГСО приведена на рисунке 1.2.

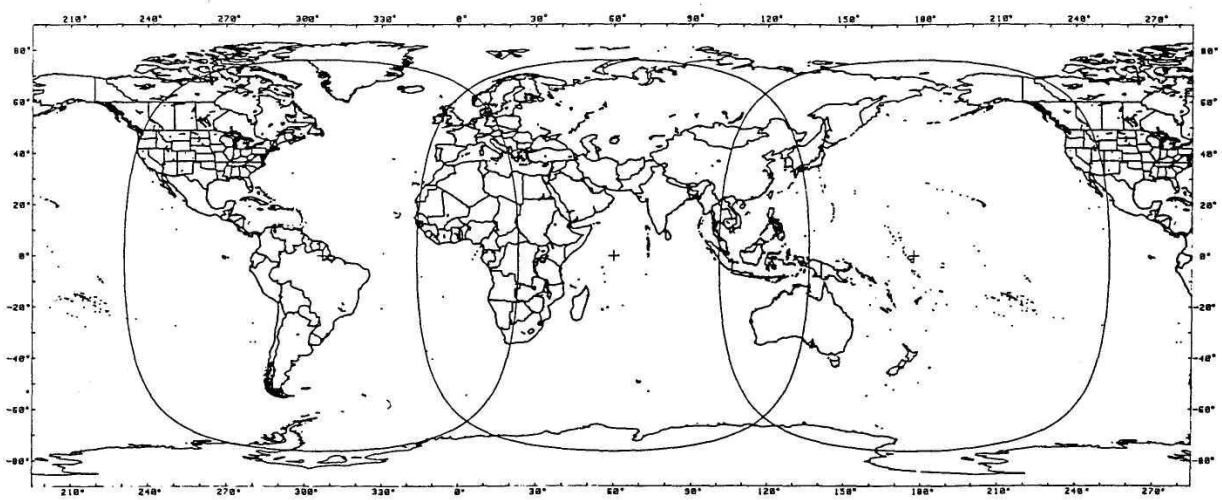


Рисунок 1.2 – Зона покрытия мира спутниками на ГСО

1.2 Преимущества и недостатки геостационарной орбиты

Преимущества:

- так как спутник не движется относительно Земли, то не возникает проблем с изменением частоты сигнала из-за относительного движения спутника и наземных антенн (обусловленного эффектом Доплера).
- упрощается процедура отслеживания спутника с наземных станций.
- спутник, находящийся на высоте 35 863 км над Землей, может связаться примерно с четвертой частью земной поверхности. Для того чтобы покрыть все населенные зоны Земли, исключая участки близ Северного и Южного полюсов, понадобится вывести на геостационарную орбиту всего три спутника.

Недостатки:

- после прохождения расстояния свыше 35 тыс. км сигнал может стать довольно слабым.
- полярные области и приполярные участки северного и южного полушарий практически недоступны для геостационарных спутников.

Несмотря на то что скорость света равна 300 тыс. км/с, задержка прохождения сигнала из точки на экваторе, расположенной под спутником, на спутник и обратно довольно существенна была цифра[3].

Основным показателем спутника на стационарной орбите является зона обслуживания. Ключевой параметр зоны обслуживания – угол возвышения антенны земной станции, который является углом между горизонтальной линией (то есть линией, касательной к поверхности Земли в точке расположения антенны) и направлением основного луча антенны непосредственно на спутник. Максимальная величина зоны обслуживания спутника получается при нулевом угле возвышения антенны. Тогда зона обслуживания во всех направлениях ограничивается только оптическим горизонтом спутника. Однако существуют по крайней мере три проблемы, которые не позволяют строить антенны наземных станций с нулевым углом возвышения и определяют минимальный угол возвышения.

- нельзя не учитывать здания, деревья и другие наземные объекты, которые могут находиться на пути луча, идущего от антенны. Подобные помехи приводят к ослаблению сигнала, так как происходит его частичное поглощение или искажение вследствие многократного отражения луча.

- чем меньше значение угла возвышения, тем больше атмосферное поглощение, так как при малых углах возвышения сигнал проходит в атмосфере большое расстояние.

- на качество приема также неблагоприятно влияет электрический шум, обусловленный высокой температурой около поверхности Земли.

Несложные геометрические построения показывают, что на широтах выше 81,3 град. геостационарные спутники находятся под горизонтом, а значит связь с их помощью в полярных районах невозможна. На практике мобильная связь через геостационарный спутник ограничивается широтой 65–70 град., а фиксированная – 70–75 град.

Связь через ГСО имеет и еще один серьезный недостаток. По пути к спутнику и обратно радиосигнал преодолевает более 70 тыс. км, затрачивая на это четверть секунды. С учетом времени на обработку сигнала и его передачу по наземным линиям связи задержка может заметно превышать полсекунды. В результате интернет-сервисы через спутник откликаются медленно, а телефонное общение становится некомфортным, поскольку даже современные средства эхоподавления не всегда справляются с большими задержками. Чтобы избавиться от этих недостатков, приходится уменьшать высоту спутников.

1.3 Назначение ССС

В наше время системы спутниковой связи (ССС) используются уже во многих странах мира. В списке услуг ССС, получивших свое широкое применение с начала восьмидесятых годов прошлого века, доминируют телефония, телевидение и широкополосная передача данных.

Устройством связи, принимающим сигналы с земной станции, в таких системах является спутник. Получив сигнал, спутник усиливает его и передает на все земные станции, расположенные в зоне его видимости. Спутники связи располагаются на земных орбитах. Спутник размещается на плоскости экватора на расстоянии 35800 км над заданным местом. Таким образом, расстояние до спутника от любой точки планеты в четыре раза больше, расстояния между самыми удаленными точками на Земле. Устойчивость спутника и заданная ориентация его антенны поддерживается с помощью системы стабилизации. В том случае, когда возникает необходимость корректировки положения спутника, на него передаются команды, которые включают специальное энергетическое оборудование, осуществляющее корректировку. Срок жизни спутника связи составляет около 10 лет.

В последние годы все больше внедряются в повседневную жизнь и средства персональной спутниковой связи (СПСС). Спутниковая система связи дает возможность вести телефонные переговоры из любой точки планеты, что выгодно отличает ее перед сотовой связью. С помощью СПСС можно, кроме того, передавать пакетные данные (факс, компьютерные данные и т.д.).

Спутниковые системы связи и вещания позволяют удовлетворить потребности десятков миллионов граждан Казахстана. Внедрение спутниковых систем имело исключительно важное значение для экономического и социального развития как труднодоступных регионов, так и всей страны.

1.4 Диапазон частот ССС

Использование различных частот для систем радиосвязи и вещания, включая спутниковые, строго регламентируется международными организациями. Это необходимо для достижения совместимости различных систем, а также для предотвращения взаимных помех при работе различных служб. В 1977 году состоялась Всемирная административная радиоконференция (WARC-77) по планированию вещательной спутниковой службы, на которой был принят ныне действующий Регламент радиосвязи. В соответствии с ним вся территория Земли разделена на три района, для вещания в каждом из которых выделены свои полосы частот. Район 1 -

включает Африку, Европу, Россию, Монголию и страны СНГ. Район 2 - охватывает территорию Северной и Южной Америки. Район 3 - это территории Южной и Юго-Восточной Азии, Австралия и островные государства Тихо-Океанского региона.

В соответствии с этим регламентом для систем спутниковой связи выделено несколько диапазонов частот, каждый из которых получил условное обозначение буквой латинского алфавита[4].

Большинство действующих систем спутниковой связи на базе геостационарных спутников работают в диапазонах С (6/4 Ггц) и Ku (14/11 Ггц). Ка - диапазон в нашей стране пока широко не применяется, но идет его бурное освоение в Америке и Европе. Эффективность приемных зеркальных антенн пропорциональна числу длин волн, укладывающихся в ее поперечнике. А длина волны с увеличением частоты уменьшается. Следовательно, при одинаковой эффективности размеры антенн уменьшаются с увеличением частоты. Если для приема в диапазоне С требуется антенна 2,4 - 4,5 м, то для диапазона Ku размер уменьшится до 0,6 - 1,5 м, для диапазона Ка он может быть уже 30 - 90 см, а для Ка- диапазона - всего 10 - 15 см.

Т а б л и ц а 1.3 - Диапазоны частот ССС

Наименование диапазона	Полоса частот в ГГц
L-диапазон	1,452-1,550 и 1,610-1,710
S-диапазон	1,93-2,70
C-диапазон	3,40-5,25 и 5,725-7,075
X-диапазон	7,25-8,40
Ku-диапазон	10,70-12,75 и 12,75-14,80
Ka-диапазон	15,40-26,50 и 27,00-30,20

1.4.1 Необходимость перехода в Ка диапазон, его преимущества и недостатки.

Диапазоны С и Ku обычно используются для передачи цифрового телевидения. Однако, спектр частот, который может использоваться для вещания через спутник, ими не ограничен. Прежде, чем перейти к Ка-диапазону, нужно сначала взглянуть на спектр радиочастот в целом. Формально, радио-спектр начинается с 3 Гц и заканчивается на 300 ГГц [2]. На самом деле, частоты из нижней части спектра практически не используются для вещания. Полоса "Длинных волн" в классических радиоприемниках начинается примерно от 100 кГц (ДВ). Более низкие частотные диапазоны могут быть полезны для подводной связи, связи в шахтах или геофизических измерениях.

И хотя эта тема очень интересна, низкие частоты практически не представляют интереса для спутниковой индустрии. Прежде всего, сигналы

низкой частоты не подходят, чтобы передавать большое количество данных за единицу времени. Говорить о передаче цифрового (и аналогового) телевидения можно, начиная примерно со 100 МГц. Еще одна вещь, которую нужно принять во внимание – влияние Земной атмосферы. Низко и очень высокочастотные сигналы в значительной степени поглощаются, проходя через нашу атмосферу.

Последние несколько лет наблюдаются активное коммерческое освоение Ка-диапазона применительно к системам фиксированной спутниковой связи и вещания. Обусловлено это двумя основными факторами. Первый связан с проблемой международной координации новых геостационарных спутников в Ku-диапазоне, второй - со стремлением реализовать предельно большую пропускную способность спутника для минимизации себестоимости передачи единицы информации. Кроме того, для реализации вещания высокой четкости и тем более для перехода к объемному вещанию требуется увеличение частотного ресурса спутника, и без перехода от Ku- к Ка-диапазону эту задачу не решить. Реальность этих факторов подтверждается и общей мировой тенденцией развития информационного общества. Дело в том, что объем информации, генерируемой обществом, неуклонно растет и соответственно возрастает необходимость ее передачи (мировой объем трафика ежегодно удваивается в последние годы). В связи с этим во всем мире наблюдается стремление к увеличению пропускной способности каналов и в частности, ощущается и дефицит спутниковой емкости.

К основным преимуществам использования Ка-диапазона можно отнести:

- больший по сравнению с С и Ku-диапазонами частотный ресурс (1,5-3 ГГц);

- высокие частоты Ка-диапазона облегчают реализацию на спутнике узких лучей антенн с высоким усилением, а также создание бортовых многолучевых антенн (МЛА) с целью повышения энергетического потенциала спутниковых линий (увеличения значений эффективной изотропной излучаемой мощности (ЭИИМ) КА и добротности (G/T) КА);

- применение в космическом сегменте СССВ многолучевых антенн с узкими лучами и многократное повторное использование частот в лучах МЛА повышают эффективность использования спектра и способствуют увеличению пропускной способности новых СССВ.

В настоящее время среди систем, использующих Ka-диапазон можно отметить канадский спутник Anik F2, который обладает 45-тью активными Ка-транспондерами и обеспечивает услуги мультимедиа и широкополосный доступ в Интернет на территории Северной Америки, а также KA-SAT принадлежащий Eutelsat и обеспечивающий похожие услуги на территории Европы. Среди российских спутников, этот диапазон используют военные спутники Радуга-1 и Радуга-1М [3].

Мировой опыт коммерческого применения Ка-диапазона для предоставления услуги доступа в Интернет для физических лиц и малого бизнеса уже есть (системы Wild Blue и HughesNet в США и Канаде). А в скором времени (по планам в 2012 г.) вся европейская граница России будет усеяна VSAT-станциями Ка-диапазона, работающими в сетях европейских спутников KA-SAT и HYLAS, совмещающими и услуги Интернета, и различные услуги вещания. Но есть и проблемы при использовании данного диапазона, которые необходимо проанализировать и учесть при проектировании спутниковых сетей. Одной из основных является ослабление сигнала из-за погодных условий, что, в конечном счете, определяет достижимый коэффициент готовности спутникового канала, то есть качество и надежность конечной услуги. Этому вопросу посвящено большое количество внимания, но следует отметить, что полностью все данные не отражены, нигде, нет четкого механизма общей инженерной оценки потерь при распространении сигнала, вызванных природными факторами. Сравним с помощью расчета затухание в Ku и Ка диапазонах в таблице 1.4.

Земная атмосфера ведет себя по-разному для различных частот. Атмосфера, содержащая пар - одно, а идущий дождь - совсем другое. Ослабление, вызванное дождем, значительно увеличивается с частотой, что очевидно из решения. Именно поэтому диапазон Ка больше используется для высокоскоростного доступа в Интернет, а не для классического спутникового телевидения. Если речь идет об обмене данными с глобальной сетью, потеря нескольких пакетов не столь ощутима. Оборудование позаботится о повторном запросе пропущенных данных до тех пор, пока искомая web-страница не появится в браузере. Именно так все это и было изначально задумано. Задержка в доли секунды или чуть больше обычно не вызывает затруднений при работе в Интернет. Разумеется, подобного сказать о цифровом спутниковом телевидении нельзя.

Главной причиной перехода к Ка диапазону является рост требований к скорости передачи информации. Переход в Ка диапазон обеспечивает расширение доступной полосы частот, но одновременно связан с увеличением потерь в атмосфере Земли, поэтому параметры земных станций, работающих в смежных Ка и Ku диапазонах радиоволн, будут отличаться с точки зрения энергетики.

Т а б л и ц а 1.4 - Сравнение затухания

Ka диапазон	Ku диапазон
$La := Lo2f1 \cdot \frac{ho2 - h3}{\sin(\gamma)} + LH2ofl \cdot \frac{hH2o - h3}{\sin(\gamma)} = 0.388$ дБ $La2 := Lo2f2 \cdot \frac{ho2 - h3}{\sin(\gamma)} + LH2of2 \cdot \frac{hH2o - h3}{\sin(\gamma)} = 0.278$ дБ	$La := \frac{Lo2f1 \cdot (ho2 - h3) + LH2ofl \cdot (hH2o - h3)}{\sin(\gamma)} = 0.11$ дБ $La2 := Lo2f2 \cdot \frac{ho2 - h3}{\sin(\gamma)} + LH2of2 \cdot \frac{hH2o - h3}{\sin(\gamma)} = 0.078$ дБ
$L1 := 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot 10^3}{\lambda}\right) = 212.764$ дБ $L2 := 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot 10^3}{\lambda 2}\right) = 213.842$ дБ	$L1 := 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot 10^3}{\lambda}\right) = 207.217$ дБ $L2 := 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot 10^3}{\lambda 2}\right) = 205.122$ дБ

До настоящего времени применение Ка-диапазона в ССС сдерживалось из-за особенностей географического положения и климатических условий. Однако развитие технологий адаптивной компенсации атмосферных потерь и применение высокоэффективных многолучевых антенн позволило существенно компенсировать недостатки, присущие этому частотному диапазону. Необходимо в первую очередь решить тактическую задачу - предоставить всем жителям страны доступ в сеть, то есть решить проблему цифрового неравенства. Эта проблема усложняется не только наличием обширных территорий и труднодоступных регионов, где прокладка наземных сетей связи очень дорога или физически невозможна, но и низкой платежеспособностью населения. Более того, распределение плотности населения на территории страны, то есть потенциальных абонентов, крайне неравномерно. Спутниковая связь - один из самых эффективных способов решения задачи организации вещания и связи, в том числе и доступа в Интернет, на таких территориях. До недавнего времени коммерческие спутниковые системы связи были доступны исключительно среднему и крупному бизнесу. Появление спутниковых систем массового обслуживания в Ка-диапазоне принципиально расширяет круг пользователей. Поэтому неудивительно, что диапазон Ка становится более интересным для провайдеров спутниковых услуг.

При одинаковых размерах антенна в диапазоне Ku имеет коэффициент усиления примерно на 9,5 дБ больше, чем в диапазоне С. Обычно, ЭИИМ спутников в диапазоне С не превышает 40-42 дБ, тогда как в диапазоне Ku нередки уровни ЭИИМ 50-54 дБ для систем фиксированной спутниковой связи, и даже 60-62 дБ для спутников систем НТВ. По тем же причинам,

коэффициент усиления приемных антенн на спутниках-ретрансляторах в диапазоне Ku выше, чем в диапазоне С. В результате, размеры антенн и мощность передающих устройств земных станций в диапазоне Ku в большинстве случаев меньше, чем в диапазоне С. Например, для работы со спутником "Горизонт" в диапазоне С требуются земные станции с антеннами не менее 3,5 м и передатчиком около 20 Вт. В то же время, земные станции с такой же пропускной способностью для работы со спутником "Интелсат" (Intelsat) в диапазоне Ku могут оснащаться антеннами диаметром 1,2 м и передатчиком 1 Вт. Стоимость первой станции примерно в два раза выше, чем второй при одинаковых пользовательских характеристиках.

В пользу диапазона Ku говорит также факт, что полоса частот, выделенных МСЭ для систем спутниковой связи в этом диапазоне, более чем два раза превышает полосу в диапазоне С. К недостаткам диапазона Ku следует отнести повышенные, по сравнению с диапазоном С, потери во время дождя, что требует создания запаса по усилению антенны для их компенсации. Это ограничивает применение диапазона Ku в регионах с тропическим и субтропическим климатом. Для большинства же районов России необходимый запас не превышает 3-4 дб, для создания которого достаточно увеличить диаметр антенны на 20-30% в сравнении с регионами с сухим климатом.

В связи с изложенным, большинство сетей спутниковой связи на базе VSAT строятся в диапазоне Ku. Для работы систем спутниковой связи выделяются определенные полосы частот, в рамках которых возможно размещение большого числа каналов. При используемых в настоящее время методах модуляции полоса частот одного симплексного (однонаправленного) канала, выраженная в килогерцах (Кгц), примерно равна скорости передачи, выраженной в килобитах в секунду (Кбит/с). Таким образом, для передачи данных в одном направлении со скоростью 64 Кбит/с требуется полоса около 65 Кгц, а для канала E1 (2048 Кбит/с) необходима полоса частот около 2 МГц. Для двухсторонней (дуплексной) связи требуемую полосу необходимо удвоить. Следовательно, для организации дуплексного канала со скоростью передачи 2 Мбит/с потребуется полоса частот около 4 МГц. Это соотношение выполняется и для большинства других радиоканалов, а не только спутниковых.

Для стандартного спутникового ствола с полосой 36 МГц максимальная скорость передачи составляет около 36 Мбит/с. Но большинству пользователей такие высокие скорости не нужны и они используют лишь часть этой полосы.

1.4.2 Технологии ССС

По состоянию на геостационарной орбите действует немало спутников связи и вещания (табл. 1), полезная нагрузка которых имеет в своем составе стволы Ка-диапазона. До недавнего времени применение Ка-диапазона было связано с экспериментами или с организацией магистральных каналов типа "точка -точка". Однако ряд спутников специально созданы для организации систем связи и вещания исключительно в Ка-диапазоне или имеют бортовые радиотехнические комплексы (БРТК) с перекрестным преобразованием Ка/Ku. Это уже спутники нового поколения, имеющие коммерческое предназначение. В табл. 1 представлен перечень спутников, имеющих БРТК Ка-диапазона наряду с БРТК Ku- и С-диапазонов. Ряд спутников целевым образом созданы с БРТК Ка-диапазона. Для общности обзора в табл. 1 включены и ранее созданные спутники с БРТК Ка, но уже не действующие в связи с окончанием срока активного существования (САС).

Для большинства спутников с высокой пропускной способностью (HTS) в заявках, как правило, указывается ширина полосы 3,5 ГГц в следующих полосах диапазона Ка:

- 27,5–31 ГГц – линия вверх
- 17,7–21,2 ГГц – линия вниз.

К этому диапазону частот применяются различные регламентарные процедуры. Ниже приведен один из способов деления этих диапазонов:

а) полосы, определенные для ФСС высокой плотности:

В п. 5.516B РР приведены полосы, определенные для фиксированной спутниковой службы высокой плотности (HDFSS). Эти полосы обеспечивают возможность развертывания некоординируемых земных станций ФСС при наличии общей лицензии. Единственными полосами, включающими все Районы, являются:

- 29,5–30 ГГц (линия вверх) (500 МГц);
- 19,7–20,2 ГГц (линия вниз) (500 МГц).

В п. 5.516B РР для HDFSS на линии вниз осуществлены следующие определения по Районам:

- 17,3–17,7 ГГц (космос-Земля) в Районе 1;
- 18,3–19,3 ГГц (космос-Земля) в Районе 2.

В Районах 1 и 3 полоса 17,3–18,1 ГГц ограничена фидерными линиями (т. е. Земля-космос) радиовещательной спутниковой службы (п. 5.516 РР).

Однако в Районе 1 полоса 17,3–17,7 ГГц (400 МГц) может также использоваться для линии вниз ФСС. Данное ограничение не является серьезным препятствием в связи с наличием весьма ограниченного числа станций фидерных линий РСС. На рисунке 1.3. представлен перечень спутников, имеющих БРТК Ка-диапазона наряду с БРТК Ku- и С-диапазонов. Ряд спутников целевым образом созданы с БРТК Ка-диапазона. Для общности обзора в рисунок 1.3. включены и ранее созданные спутники с БРТК Ка, но

уже не действующие в связи с окончанием срока активного существования (САС).

b) полосы, используемые многими администрациями для ФС, включая:

Во всех трех Районах МСЭ в большей части диапазона Ka, используемого ФСС, ФС имеет распределение на равной первичной основе. Еще одной предпочтительной полосой для ФСС является полоса шириной 1,1 ГГц:

- 27,5–28,6 ГГц
- 17,7–18,8 ГГц.

Однако в этой полосе у многих администраций имеются службы, например локальные службы распределения на многие пункты (LMDS). Local Multipoint Distribution Service (*LMDS*)- это широкополосная система беспроводных телекоммуникаций типа «точка-многоточка», которая функционирует в диапазоне частот выше 20 ГГц.

Данная служба испытывает трудности при совместном использовании частот с HDFSS.

c) полосы, в которых спутники ГСО и НГСО имеют равные права:

1) Негеостационарные спутниковые системы не должны создавать неприемлемых помех геостационарным спутниковым сетям фиксированной спутниковой и радиовещательной спутниковой служб, работающим в соответствии с положениями настоящего Регламента, и, если иное не указано в настоящем Регламенте, не должны требовать защиты от них. В данном случае п. 5.43A не применяется. (ВКР-07)

Геостационарные спутники связи и вещания Ка-диапазона частот в составе полезной нагрузки БРТК Ка

№	Спутник (орбитальная позиция)	Год запуска, САС	Диапазон частот	Параметры БРТК Ка	Примечание
1	ACTS (100W)	1993 г., 3 года	Ка	Отработка оборудования и технологии обработки и коммутации на борту	Экспериментальный спутник. В 2004 г. уничтожен
2	AMC 15 (105.5W)	2004 г., 15 лет	Ku, Ka	12 лучей по 125 МГц, в каждом 3 канала по 39 МГц, LTWT по 75 Вт, резервирование TWT 9:6, резервирование Rx 2:1 и 7:5	Полностью сдан в аренду. Любой приемный канал подключается к любому передающему каналу
3	AMC 16 (85W)	2004 г., 15 лет	Ku, Ka		В 2008 г. проблемы с работой солнечных батарей
4	AMOS 3 (4W)	2008 г., 12 лет	Ku, Ka	2 ствола Ка по 450 МГц (в стволе до 3 каналов), 1 луч фиксированный с ЭИИМ до 54 дБВт, G/T=11дБ/К в центре луча и 1 перенацеливаемый с ЭИИМ до 60 дБВт, G/T=17дБ/К в центре луча, полоса 28,95–30/19,325–20,375 ГГц	Технический ресурс предусмотрен до 17 лет
5	Anik F2 (111W)	2004 г., 15 лет	C, Ku, Ka	45 (по другим данным, 31) лучей по 56,25 МГц или 112 МГц для абонентов с ЭИИМ = 57–60 дБВт и G/T=14–16 дБ/К и 5 (6) лучей для ЦС по 500 МГц. Диапазон Ка (29,25–30)+(28,35–28,6)/(19,7–20,2)+(18,3–18,8) ГГц. 51 ствол Ка	Работает совместно с WildBlue 1 в системе WildBlue
6	Anik F3 (118.7W)	2007 г., 15 лет	C, Ku, Ka	2 ствола Ка по 75 МГц на передачу с ЭИИМ = 59,5 дБВт в зоне 0,5 град, а на территории Канады 48 дБВт. По приему стволы 500 МГц	Стволы не активированы, БРТК не работоспособен
7	Astra 1L (19.2E)	2007 г., 15 лет	Ku/Ka	12 приемных лучей, на границе зон 10–12 дБ/К. 2 ствола по 500 МГц, TWT по 128 Вт, полоса 29,5–30/18,3–18,8 ГГц	Спутники BSS, включая интерактивные услуги вещания
8	Astra 1H (19.2E)	1999 г., 15 лет	Ku/Ka	8 приемных лучей Ка, 2 ствола Ка по 500 МГц, TWT = 70 Вт, полоса 29,5–30/18,3–18,8 ГГц	
9	Astra 1K (19.2E)	2002 г., 13 лет	Ku/Ka	16 приемных лучей Ка, 2 ствола по 500 МГц, TWT = 66 Вт	
10	DFS-1 (23.5E)	1989 г., 10 лет	S, Ku, Ka	1 ствол 90 МГц, ЭИИМ = 48 дБВт (TWT = 20 Вт), G/T = 7,7 дБ/К	Спутники вещания и связи. САС 12 лет
12	DirecTV 9s (101W)	2006 г., 15лет	Ku, Ka	2 ствола Ка	Спутник BSS, 27 лучей Ku с ЭИИМ = 50,5 дБВт
12	DirecTV 10 (102.8W)	2007 г., 15 лет	Ka	32 ствола (резерв 8:3) для контурного луча и 55 стволов (резерв 11:3) для узких региональных лучей, диапазон 29,25–29,5 ГГц и 28,35–28,6/18,3–18,8 ГГц	Спутники BSS для HDTV в формате MPEG-4, прием на антенну 0,75 м. Размещены совместно с SpaceWay 1 SpaceWay 2
13	DirecTV 11 (99.2W)	2008 г., 15 лет	Ka	Аналог DirecTV 10	
14	DirecTV 12	2009 г., 15 лет	Ka	Аналог DirecTV 10	
15	Echostar 9 (121W)	2002 г., 15 лет	C, Ku, Ka	5 стволов Ка по 120 МГц, полоса (28,35–28)+(29,25–30)/(18,3–18,8)+(19,7–20,2) ГГц, 5 лучей по 0,5 град.	Другое название Galaxy 23
16	Express AM4 (80E)	2011 г., 15 лет	L, C, Ku, Ka	2 перенацеливаемых луча (1,5 град. передача, 1 град. прием), 2 ствола по 112 МГц, TWT = 130 Вт, ЭИИМ=60 дБВт, G/T = 16 дБ/К	
17 18	Express AM5 (53E) Express AM6 (140E)	15 лет, 15 лет	L, C, Ku, Ka	10 лучей Ка на каждом спутнике. Параметры уточняются	Оценка сроков – 2013 г.
19	Galaxy 28 (89W)	2005 г., 13 лет	C, Ku, Ka	24 луча по 0,75 град. для абонентов с G/T = 10–16 дБ/К и ЭИИМ = 51–58 дБВт (линейный режим) и 4 луча для ЦС (6 приемных лучей на HUB). Полоса ствола для HUB 500 МГц, внутри 6 каналов по 66 МГц, LTWTA = 105 Вт. Диапазон 29,5–30/19,7–20,2 ГГц	Другое название Intelsat IA-8
20	GSAT-4 (82E или 83E)	2009/2010 гг.	Ka, C/L	8 лучей по 0,4–0,6 град. (антенна Tx/Rx) на территории Индии. 8 стволов с матрицей ПЧ, определяющей связи лучей. В каждом стволе дополнительно предусмотрено оборудование регенерации (обработки сигнала). Это оборудование может быть включено или выключено независимо в каждом луче. ЭИИМ луча 50,5 дБВт, G/T = 6 дБ/К. Передача 20,6–21,2 ГГц, прием 29,6–30,2 ГГц. При использовании регенерации применяются VSAT с антеннами 0,28–0,75 м, для антенны VSAT 2,4 м	Спутник имеет статус экспериментального. Дополнительно имеет оборудование для метеорологических задач и трансляции сигналов GPS

Рисунок 1.3 - Геостационарные спутники связи и вещания Ка-диапазона частот в составе полезной нагрузки БРТК Ка

Однако в указанных ниже двух полосах спутниковые сети ГСО и НГСО имеют равные права: в полосе 500 МГц, первоначально предназначавшейся для системы Teledesic:

- 28,6–29,1 ГГц (линия вверх);
- 18,8–19,3 ГГц (линия вниз).

В этой полосе планируется работа сети НГСО "ОЗВ".

d) полосы, в которых применяется эквивалентная п.п.м. (э.п.п.м.):

Полоса 400 МГц для фидерных линий НГСО (Iridium):

- 29,1–29,5 ГГц;
- 19,3–19,7 ГГц.

В системе Iridium в диапазоне L работает служебная линия, а в диапазоне Ka – фидерная линия. В указанных выше полосах 500 МГц и 400 МГц применяется п. **9.11A** РР; это означает, что любая новая сеть, независимо от того, является ли она сетью ГСО или НГСО, должна осуществлять координацию с сетями ГСО и НГСО, которые заявлены раньше, а также с другими первичными службами, работающими в этих полосах.

e) полосы, используемые в военных целях.

Эти полосы, по сути, не определены в РР, однако в военных/ правительственных целях используются следующие полосы:

- 30–31 ГГц (линия вверх)
- 20,2–21,2 ГГц (линия вниз).

Не исключена возможность предоставления коммерческим оператором услуг военному оператору. Например, полезная нагрузка в диапазоне Ka спутников Inmarsat Global Xpress™ может взаимно переключаться между военными и коммерческими частотами. Некоторые администрации не позволяют коммерческим спутниковым операторам подавать заявки на эти полосы

Основное предназначение таких систем сегодня - это доступ к сети Интернет и предоставление абонентам всех сопутствующих услуг хостинга. Однако уже системы ближайшего будущего дополнительно ориентированы и на предоставление услуг вещания высокой четкости (в перспективе и вещания 3D) и даже интерактивного вещания. Действуют 3 основные сети типа USAT, обеспечивая доступ физических абонентов и малых компаний к сети Интернет: WildBlue и HughesNet (США и Канада) и iPSTAR (Юго-Восточная Азия, Океания и Австралия).

USAT (Ultra Small Aperture Terminal) – это двухсторонние абонентские станции типа VSAT, предназначенные для работы в Ka-диапазоне и передачи низкоскоростных данных. Первоначально абонентские станции USAT создавались для мобильной связи. В частности, компанией Qualcomm создана мобильная связная система Omnitracs, предназначенная для организации мобильной связи через арендуемые ретрансляторы Ka-диапазона. В настоящее время они модифицированы для неподвижных наземных станций. В терминалах такого типа рекомендуется применение сложной смешанной модуляции с расширением спектра, что позволяет снизить уровень помех в канале. Бортовое оборудование спутника во многом определяет функциональные возможности системы связи, созданной на его основе. После запуска на орбиту это оборудование не может быть модернизировано или хотя

бы отремонтировано. Следовательно, бортовое оборудование должно быть максимально простым и надежным. Вот почему большинство спутников связи до сих пор представляют собой простые ретрансляторы сигналов без какой-либо их обработки на борту. При другом подходе к построению системы на борту могут производиться демодуляция/модуляция сигналов, а также их декодирование/кодирование, коммутация лучей и коммутация с маршрутизацией передаваемых данных. В понятие обработки на борту следует также включить и организацию межспутниковых линий связи, соединяющих спутники между собой. Широкое применение межспутниковых линий связи позволяет построить полностью автономную и достаточно развитую спутниковую сеть связи.

Эффективность протоколов множественного доступа зависит как от характеристик среды передачи, так и от особенностей передаваемого трафика. Большие задержки распространения сигналов в спутниковых системах связи, особенно при использовании геостационарных спутников, делают невозможным использование тех протоколов MAC, которые разрабатывались для наземных проводных и беспроводных локальных сетей (таких как, например, протокол CSMA). Кроме того, низкая энергетика спутниковых каналов контрастирует с условиями передачи данных в наземных системах связи[6].

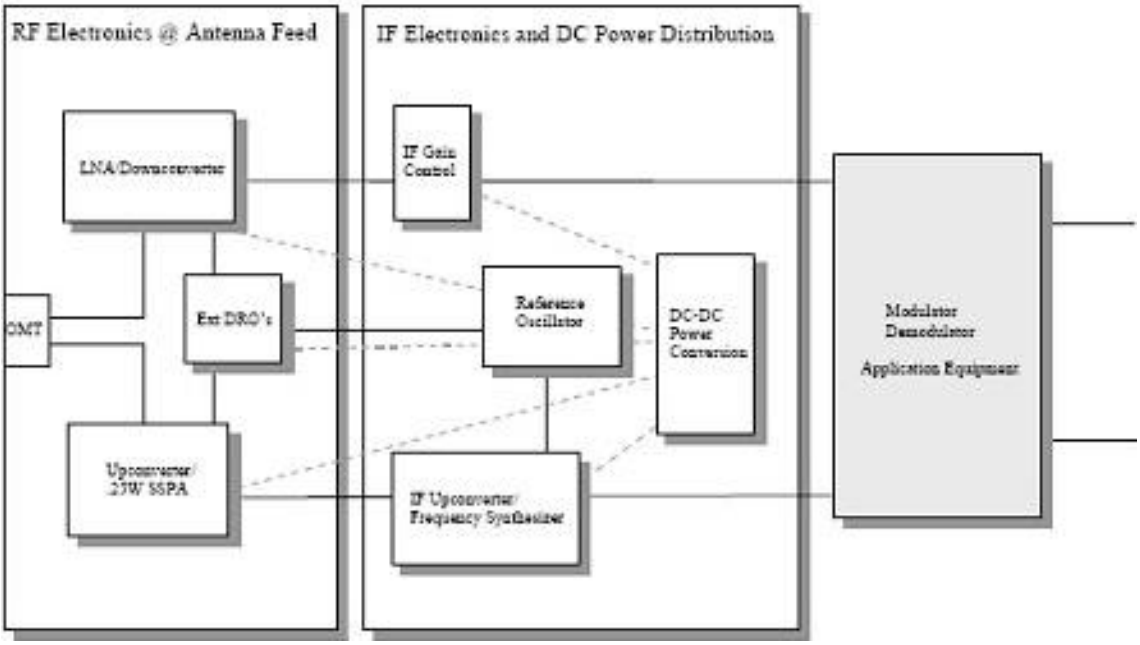


Рисунок 1.4 – Структурная схема наземной станции VSAT

В системах USAT предпочтение отдается методу множественного доступа CDMA. В системах с CDMA каждому терминалу выделяется уникальная кодовая последовательность, с помощью которой расширяется спектр его сигнала. Если кодовые последовательности ортогональны, то все другие сигналы выступают в качестве аддитивного шума и могут быть

эффективно ослаблены на приемной стороне. Кроме того, с точки зрения масштабирования сети с протоколом CDMA являются самыми простыми.

(Code Division Multiple Access) – множественный доступ с кодовым разделением каналов. В основе его лежит метод модуляции с использованием шумоподобного или широкополосного сигнала, которая осуществляется это за счет перемножения последовательности полезных битов информации на псевдослучайную последовательность более коротких импульсов. В этом случае информацию можно принять, только зная последовательность, на которую был перемножен полезный сигнал при передаче, - в противном случае он будет выглядеть как шум.

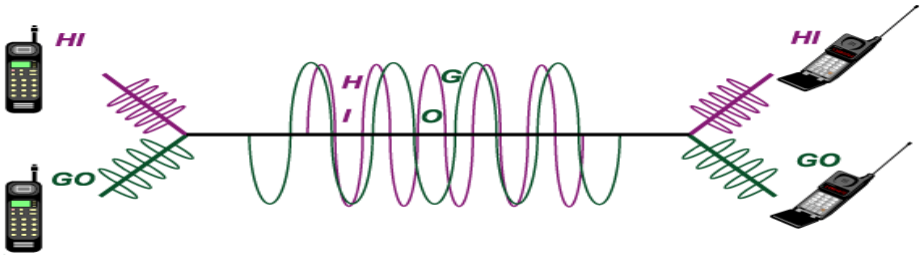


Рисунок 1.5 - Система CDMA

Достоинства:

- частотное разнесение. Из-за того что передаваемые сигналы рассеяны по широкой полосе частот, искажение передачи на определенной частоте, например, вследствие шума или селективного замирания, меньше влияет на сигнал.

- снижение негативных эффектов многолучевого распространения.

- конфиденциальность. Так как расширенный спектр получается посредством использования шумоподобных сигналов, где каждый пользователь имеет свой код, то для тех, кто не знает кода, сигнал будет выглядеть как шум.

- постепенное снижение эффективности функционирования системы. В схемах TDMA и FDMA к системе может одновременно обращаться только фиксированное количество пользователей. В CDMA по мере того, как все больше пользователей получают одновременный доступ к системе, уровень шума, а следовательно и частота появления ошибок увеличиваются. Система приближается к моменту неприемлемого качества связи постепенно.

Недостатки:

- сложное системное планирование (размещение базовых станций на местности);

-многоступенчатое управление мощностью передачи мобильной станции (в IS-95 восемьдесят ступеней управления) – для снижения внутрисистемных помех;

-жёсткие требования к синхронизации CDMA-сети и отсутствие многовариантности систем синхронизации.

Возможности для пользователей CDMA:

- отличное качество передачи звука и разговора
- меньший расход энергии
- меньшее число прерванных разговоров
- расширенная зона действия
- безопасность и секретность информации
- более высокая пропускная способность
- быстрый ввод в эксплуатацию
- дополнительные услуги

2 Описание используемой технологии.

2.1 Антенны спутниковых систем радиосвязи

Антенная подсистема. Антенны являются одним из наиболее специфичных субансамблей для выполнения задач спутников. Ограниченность имеющихся частот, увеличение емкости передач и "теснота" на геостационарной орбите привели к увеличению необходимости повторного использования частот посредством пространственной и/или поляризационной развязки сигналов.

На современных многофункциональных геостационарных спутниках, в основном, используют 4 вида антенн:

- глобальные (ширина диаграммы направленности 17° ×17°);
- полуглобальные (8,7°×8,7°);
- зональные (5°×5°; 5°×11°; 3,5°×7°);
- узконаправленные (1…2°).

На современных спутниках используются антенны со специально сформированным лучом в пределах контура зоны обслуживания, чтобы избежать перелива. Теоретически можно показать, что геометрическая форма сечения луча антенны является хорошей аппроксимацией геометрической формы ее облучения (рисунок 2.1. показывает геометрическое расположение облучателей и соответствующий контур покрытия антенны спутника на позиции 319° з.д.).

Поляризационная развязка. Ограниченность имеющихся для использования частот и перегруженность геостационарной орбиты увеличивают необходимость повторного использования частот с помощью поляризационной развязки сигналов. Поляризационная развязка, необходимая для повторного использования частот, имеет типичное значение 27 дБ. На спутнике ЕВТЕЛСАТ-II на антенне с сетчатым рефлектором достигнуто лучшее, чем 36 дВ.

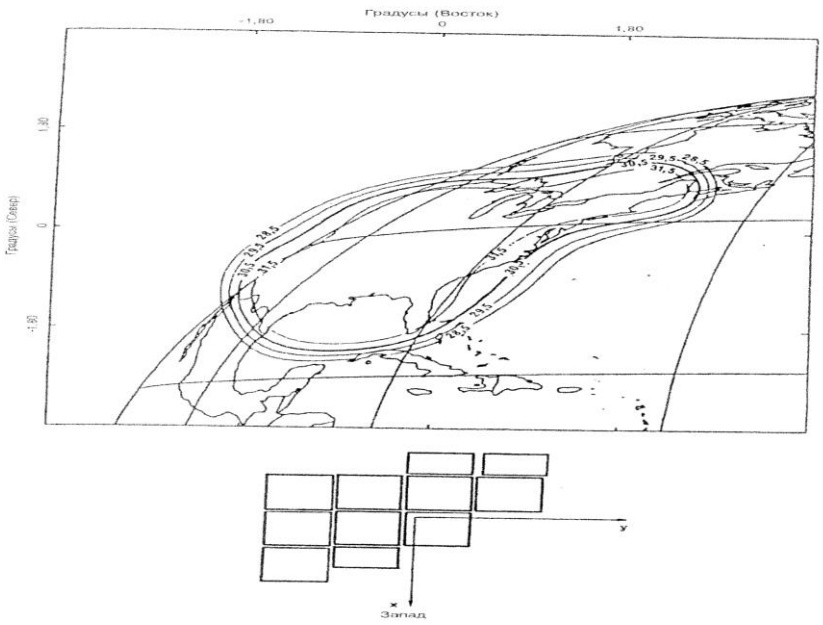


Рисунок 2.1 - Геометрическое расположение облучателей и соответствующий контур покрытия антенны спутника

Развязка лучей. Когда зоны обслуживания могут покрываться хорошо изолированными лучами, подобными разным "полуглобальным" и "зоновым" лучам спутников, два раздельных луча могут использовать одни и те же полосы частот (Интелсат-VI шесть раз использует одну и ту же полосу частот: два раза при поляризационной развязке и четыре раза при развязке лучей).

Лучшая аппроксимация контуров желаемой зоны обслуживания потребовала бы большего числа облучателей и увеличения размеров рефлектора.

Форма диаграммы и уровни боковых лепестков определены только для мощных спутников непосредственного телевизионного вещания в Рекомендации 652 МСЭ-Р.

Одно из важнейших направлений совершенствования современных спутниковых систем связано с созданием новых антенных устройств, способных обеспечивать высокие требования к скорости передачи информации, эффективности использования частотного спектра за счет пространственного разноса и поляризационного разделения диаграмм направленности (ДН) отдельных лучей, к шумовым характеристикам системы и электромагнитной совместимости.

Многие существующие многолучевые антенны (МЛА) ретрансляторов современных спутниковых систем связи строятся на базе параболических зеркал, а в качестве элементов облучающей антенной решетки как в фазированных антенных решетках, так и в гибридно-зеркальных антеннах (ГЗА) чаще всего используются рупорные излучатели. При этом требования к характеристикам ДН антенны обеспечиваются за счет сложной, громоздкой и дорогостоящей диаграммо-образующих схем (ДОС) и других

вспомогательных технических средств. В результате, полоса рабочих частот таких антенн не превосходит 3-5%, КПД не превышает 50%, угол отклонения луча в ГЗА – не более 15° /4/ Сложность исполнения, небольшой угол отклонения луча факторы ограничивающие развитие многолучевых антенн на базе параболических зеркал. Для проектирования МЛА за основу принята двухзеркальная антенная система с многоэлементным облучателем. Каждой ЗО соответствует излучатель, нацеленный на центр этой зоны.

В ретрансляторе КА предполагается применить раздельные приемную и передающую МЛА, что позволит оптимизировать антенны по максимуму коэффициента усиления (КУ), снизить уровень боковых лепестков (УБЛ) и уменьшить кроссполяризационное излучение, а также точнее выдержать взаимное соответствие зон обзора на прием и передачу. Расположение приемной и передающей МЛА по разные стороны от корпуса приборного отсека модуля полезной нагрузки КА удобнее в плане компоновки ретранслятора КА (рис. 3), а элементы конструкции КА не будут затенять формируемые МЛА лучи.

Для проектирования МЛА за основу принята [7,8] двухзеркальная антенная система с многоэлементным облучателем. Каждой ЗО соответствует излучатель, нацеленный на центр этой зоны. В ретрансляторе КА предполагается применить раздельные приемную и передающую МЛА. Учитывая значительное отличие рабочих частот, их раздельное выполнение позволит оптимизировать антенны по максимуму КУ, снизить уровень боковых лепестков (УБЛ) и уменьшить кроссполяризационное излучение, а также точнее выдержать взаимное соответствие ЗО на прием и передачу.

Многолучевая рабочая зона, как правило, формируется на основе гексагональной сетки. В [6] рассматривается проект DOMSAT (Япония), где число требуемых лучей многолучевой антенной системы оценивалось исходя из предположения, что угол места в зоне луча изменяется незначительно. В этом приближении число лучей определено по формуле:

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

где S - общая площадь обслуживаемой рабочей зоны, км^2;
L – наклонная дальность луча из центра зоны S, км^2;
a - угол места, соответствующий центру зоны S, град.;
θ_0– половина ширины ДН луча по заданному (желаемому) уровню, град.

Технические характеристики для спутников, работающих в Ка диапазоне в Казахстане выбираем:

$S=2.6*10^5$ км^2 $\alpha=0.75$ град $\theta_0=0.8$ град L=42000 км

Находим число лучей $Q = 9.241$

Тогда для Казахстана потребуются 9 лучей.

Как следует из анализа доступных материалов, большинство антенных систем спутников HTS реализованы на основе многолучевых антенн, выполненных по схеме “один рупор – один луч". Учитывая проблемы минимизации углового разноса смежных лучеи, в составе антеннои системы используется три или четыре многолучевые приемопередающие антенны. Например, антенная система спутника Yahsat 1b реализована в Ka-диапазоне и имеет три многолучевых приемопередающих антенны [22, 28]. По аналогичному принципу выполнена антенная система спутника Arabsat 5C. Но, учитывая своиства многолучевой рабочеи зоны имеет две приемопередающие антенны, каждая формирует по пять лучеи.

Аналогично выполнена антенная система ретрансляционной аппаратуры Ka-диапазона на спутниках “Экспресс-АМ5" и “Экспресс-АМ6" [29].Однако, на этих спутниках в составе антенных систем Ka-диапазона используются по три приемопередающих антенны, поскольку рабочая многолучевая зона отличается от равномерной гексагональной сетки и есть требование пересечения смежных лучей по высокому уровню .

Сканирующие свойства зависят от типа зеркальной системы. Двухзеркальные системы позволяют получить больший угловой разнос лучей, чем однозеркальные при примерно идентичном усилении в секторе углов, близком к основному направлению (это не относится к апланатическим зеркальным системам, имеющим изначально более низкое усиление в основном направлении).

Как приемная, так и передающая МЛА состоит из следующих узлов (рис. 2.2.): стойка крепления малого зеркала (1); зачековка большого зеркала (2); платформа с механизмом раскрытия и фиксации большого зеркала в рабочем положении (3); большое зеркало (4); рама крепления большого зеркала (5); неэквидистантная решетка излучателей (6); малое зеркало (7). Вариант компоновки антенн на КА показан на рис. 5. Вариант компоновки КА с приемной и передающей МЛА приведен на рисунке 2.3.

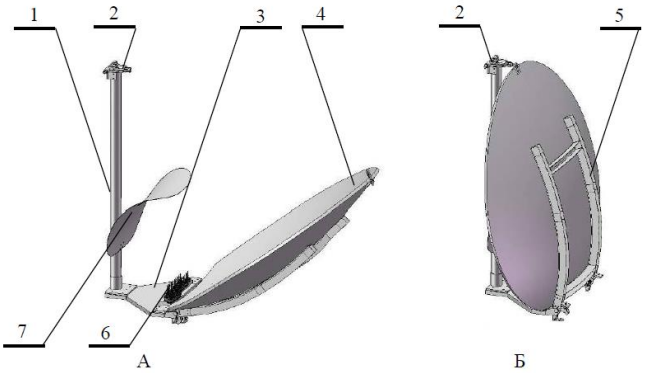


Рисунок 2.2 - 3D –модель проектируемой МЛА . А- рабочее положение МЛА. Б – транспортное положение МЛА.

Бортовая МЛА должна работать в более высоком частотном диапазоне [1], что требует более жестких допусков на воспроизведение расчетного профиля поверхности зеркал, допусков на установку облучателей в решетке и изготовления других элементов конструкции МЛА (устройства разворачивания и фиксации большого зеркала в рабочем положении и т. п.). Кроме того, необходима запрессовка в конструкцию зеркал тонкой сетки из серебра или позолоченной вольфрамовой проволоки для повышения коэффициента отражения от поверхности зеркала из композиционного материала.

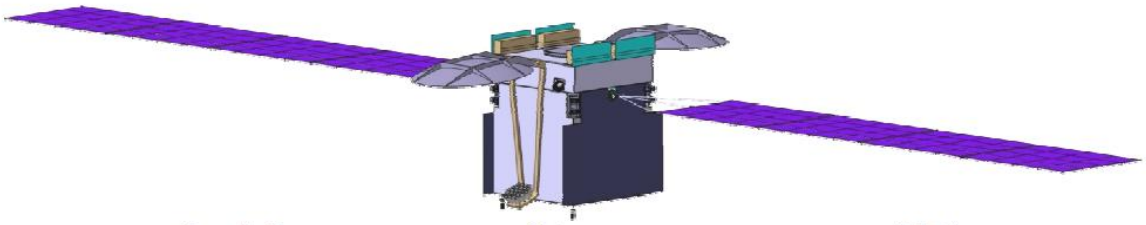


Рисунок 2.3 - Вариант компоновки КА с приемной и передающей МЛА.

Основные трудности при выборе схемы построения антенной системы МЛА связаны с формированием большого числа парциальных лучей и отклонением их значительной части от оси системы на угол, превышающий в 7…9 раз ширину центрального парциального луча.

Основными требованиями к материалу зеркал МЛА являются:

- стабильность размеров зеркала и точность ее рабочей поверхности при изготовлении и эксплуатации;
- прочность элементов конструкции МЛА;
- жесткость и отсутствие собственных частот колебаний в заданной рабочей полосе.

Конструкция зеркала МЛА должна удовлетворять всем этим требованиям и при этом иметь минимальную массу. Материал зеркал, рамы крепления, станины и стойки предполагается выполнить из композитного материала на основе углепластика .

Основные трудности при выборе схемы построения антенной системы МЛА связаны с формированием большого числа парциальных лучей и отклонением их значительной части от оси системы на угол, превышающий в 7—9 раз ширину центрального парциального луча. Устранение аберраций для отклоненных лучей в них достигается применением специальной формы одного или двух зеркал.

Для зеркальных систем, у которых сектор сканирования вытянут в одной плоскости, хорошие характеристики можно получить, применяя зеркала тороидального типа. У двухзеркальной антенны с зеркалами тороидального типа сектор сканирования вытянут в плоскости, ортогональной оси тороида, а вспомогательное зеркало в этой плоскости близко по форме

зеркалу типа Кассегрена. Поскольку в плоскости оси тороида требуемая ширина сектора сканирования существенно меньше, в этой плоскости форма зеркала не обязательно будет кассегреновская.

С целью выполнения прочностных расчётов конструкций МЛА была разработана теоретическая конечно-элементная модель конструкции МЛА (рис. 4), большого зеркала, стойки крепления малого зеркала с устройством фиксации большого зеркала в транспортном положении и рамы крепления большого зеркала.

МЛА позволяет формировать контурные лучи для создания прозрачных стволов (каналов прямой ретрансляции) для работы с уже существующей сетью наземных станций, что обеспечит преемственность частотных планов с уже действующими спутниками (например, переход от частотного плана Intelsat («Экспресс-А») к частотному плану Eutelsat, который принят на новых спутниках «Экспресс-АМ»). МЛА практически полностью изготавливается из углепластика с использованием самых современных технологий.

2.2 Особенности формирования ДН антенных решеток

Особенность современных спутниковых систем мобильной связи (ССМС) – это развертывание региональных систем, нацеленных, в отличие от прежних глобальных проектов (Inmarsat, Iridium, GlobalStar), на обслуживание отдельных районов земной поверхности [17]. Такие не столь амбициозные по замыслу ССМС, опираясь на новейшие технологии, более привлекательны для инвесторов и под силу не только гига- нтам корпоративного мира, но и компаниям со сравнительно небольшими капиталами. Причем подавляющее большинство современных связных геостационарных спутников разрабатывается на основе технологии цифровых антенных решеток (ЦАР). Реализуемые в них методы цифрового диаграммообразования (ЦДО) – это сравнительно новое направление не только в технике космического аппаратостроения, но и в наземной инфраструктуре спутниковой связи. Реализация ЦАР основана на передовых алгоритмах цифровой обработки сигналов. Цифровое образование диаграммы направленности (ДН) антенны обеспечивает формирование множественных узких, независимо настраиваемых и динамически перенастраиваемых лучей, позволяет оптимально распределять энергетический и частотный ресурс в зависимости от динамического изменения нагрузки в зонах обслуживания [12,13].

В качестве преимуществ цифрового формирования лучей отмечены [6]:

- высокая гибкость в применении различных методов обработки сигналов без потерь в отношении сигнал-шум;

- большая степень свободы в выборе формы и направлений фокусировки лучей, обеспечиваемая программной сменой весовых коэффициентов фазирования;

- возможность нацеливания парциальных лучей на индивидуальных пользователей или их пространственно-сосредоточенные группы, что обеспечивает максимальную производительность всех каналов связи;

-адаптивное формирование лучей, позволяющее повысить помехозащищенность радиолиний путем синтеза глубоких провалов ("нулей") в диаграмме направленности антенной решетки в секторе действия активных помех, а так-же обеспечить устойчивость функционирования наземного сегмента системы в условиях многолучевого распространения радиоволн;

- ДО предусматривает выполнение цифровой калибровки характеристик антенной системы в реальном времени, что позволяет контролировать и компенсировать любые паразитные изменения амплитуды и фазы сигналов по трассе распространения между приемо-передатчиками, а также применять крупноапертурные антенные решетки при высоких градиентах изменения температуры по их раскрыву;

-возможность дистанционного программного реконфигурирования архитектуры, модернизации методов обработки сигналов и режимов функционирования системы без внесения аппаратных изменений в бортовое оборудование после запуска спутника.

Следует отметить, что лучи в GPS-системе с ЦАР могут формироваться в каждом отсчете АЦП до или после корреляционной обработки принятых сигналов (рисунок 2.4).

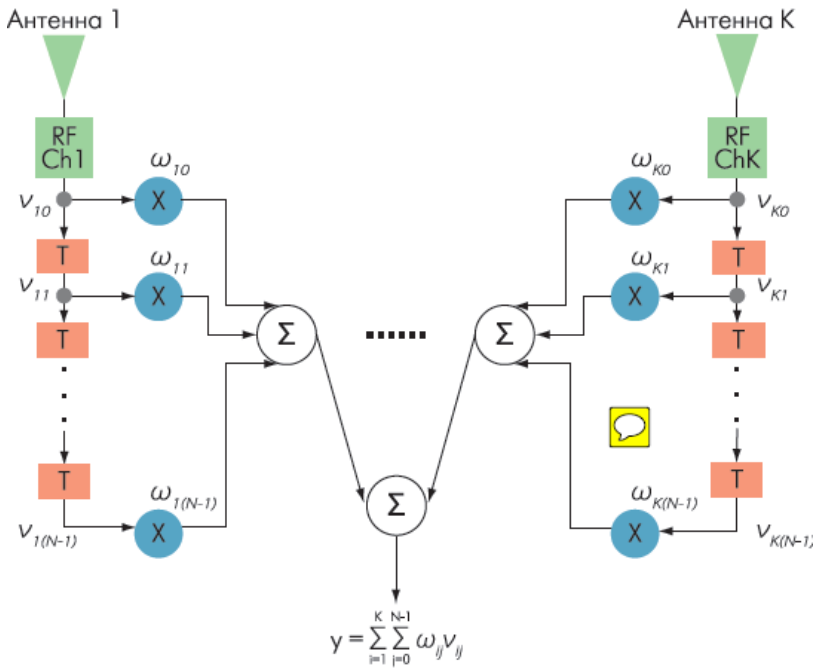


Рисунок 2.4 - Принцип формирования парциального луча путем цифрового диаграммообразования после корреляционной обработки

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

Фазированная антенная решетка представляет собой последовательность излучателей, соединенных фидерной линией с фазовращателями. При помощи фазовращателей происходит управление фазой сигнала в каждом излучателе. За счет управления фазой сигналы, излучаемые в заданном направлении, придут в фазе и усилят друг друга рисунок 2.5. Отклонение луча в ФАР на угол φ □обеспечивается изменением фазы сигнала от излучателя к излучателю при разности фаз в соседних излучателях *2π(s /λ □)* sinφ [9,10,11].

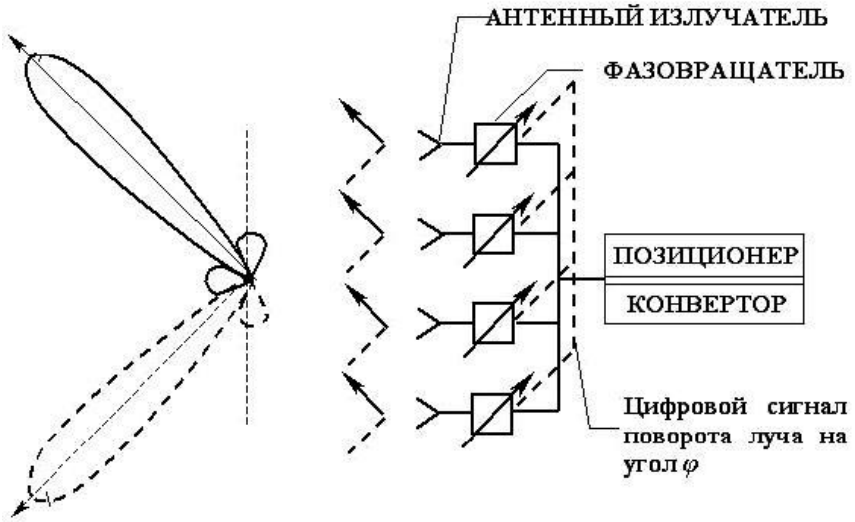


Рисунок 2.5 – Фазированная антенная решетка

Нормированная ДН одного луча для плоской эквидистантой АР размером $M \times N$ определяется выражением:

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

где , u = sinθ cosφ - sinθ$_0$ cos φ$_0$, v= sinθ sinφ - sinθ$_0$ sin φ$_0$
θ0 и 0 – направление максимума главного лепестка ДН луча,
dx и dy – расстояние между элементами по оси X и по оси Y соответственно рисунок 2.6.

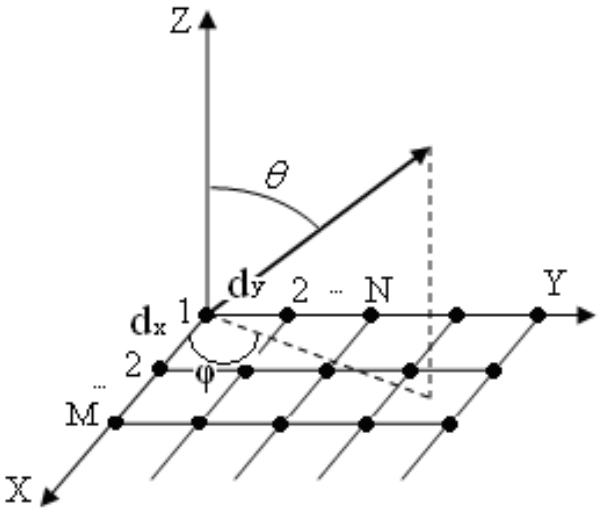


Рисунок 2.6 - Двумерный массив излучателей из $M \times N$ элементов

Рассмотрим диаграмму направленности АР с размерностью 10×10 элементов. Рассчитаем ДН для различных расстояний между элементами. На рисунке 2.7. приведены результаты расчетов при d = 0,2λ; 0,5λ; λ где λ = 0,12 м, что соответствует частоте 2.5 ГГц.

На основе выражения (1) с использованием математического пакета MathCAD построены диаграммы направленности АР. На рисунке 2.7. приведена двумерная ДН рассмотренной антенны, ограниченная первыми пятью боковыми лепестками.

От расстояние между элементами решетки зависит ширина основного лепестка ДН и количество дифракционных максимумов.

В дальнейшем исследование модели антенной решетки, позволят выбрать необходимые параметры антенной системы.

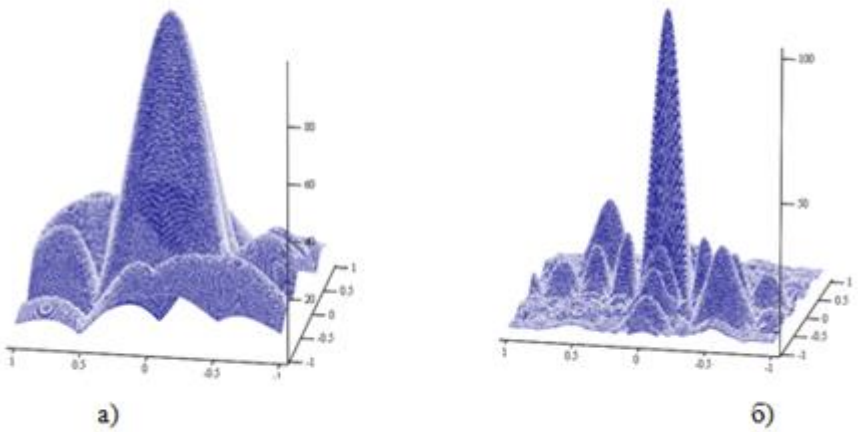
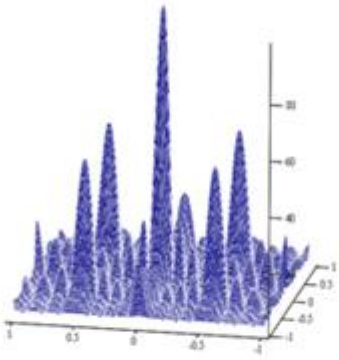


Рисунок 2.7 – ДН антенной решетки а) d= 0.2λ ; б) d= 0.5λ ; в) d= λ

Продолжение рисунка 2.7



в)

2.3 Используемые новые технологии

Одно из последних достижений в антенной технике геостационарных спутников применение антенной решетки с организацией большого числа узких лучей реализовано в системе Thuraya. 128 активных дипольных элементов L-диапазона позволяют формировать одновременно 250–300 лучей (в соответствии с численностью наземных сот). ЦФЛ сегодня – единственная технология, позволяющая эффективно реализовать динамическую адаптацию обслуживаемой зоны покрытия на основе оперативного перенацеливания цифровых приемо-передающих лучей по наземным ячейкам при изменении нагрузки и для оптимизации двунаправленного трафика [13]. Созвездие лучей, синтезируемое, например, по алгоритмам быстрого преобразования Фурье либо посредством классических процедур дискретного Фурье-анализа, является, по сути, совокупностью "пространственно-частотных фильтров". Каждый логерц).

Для согласования темпов ЦДО с периодом дискретизации АЦП обычно применяют цифровые фильтры-дециматоры, накапливающие в жестко отведенных интервалах времени отсчеты сигналов, полученные с выходов АЦП. Помимо прореживания информационного потока без потерь в энергетике такой принцип обработки позволяет декоррелировать шумы, осуществлять дополнительную частотную селекцию, повысить отношение сигнал-шум за счет когерентного суммирования напряжений сигнальной смеси. Синтез лучей путем их взвешенного фазированного суммирования сопровождается наращиванием мгновенного динамического диапазона системы: для 128-элементной антенной решетки Thuraya из них обеспечивает селекцию строго определенного набора сигналов и подавляет остальные как помеховые. Для реализации такой идеологии потребовалось существенно

пересмотреть традиционные технические решения, использовавшиеся ранее при создании фазированных антенных решеток (ФАР). В отличие от схемотехники ФАР, в каждом приемном канале ЦАР вместо фазовращателей устанавливаются аналого-цифровые преобразователи (АЦП) (рис.11) [14]. В приемных каналах (рис.11а) предусмотрено аналоговое формирование квадратурных составляющих принятых сигналов с оцифровкой каждой из квадратур отдельным АЦП. При этом тактирующие сигналы на все АЦП поступают от единого задающего генератора, чтобы все преобразователи по раскрыву ЦАР срабатывали синхронно.

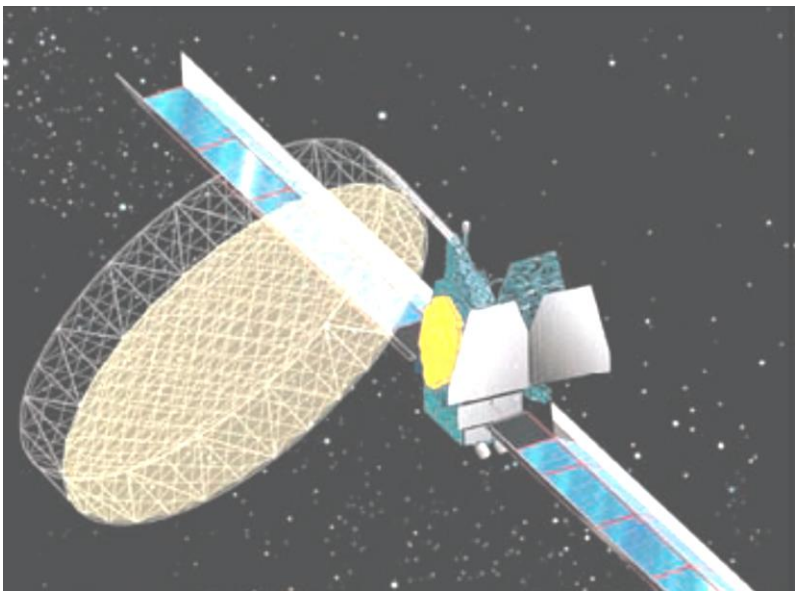


Рисунок 2.8 – Космический аппарат Thuraya

Цифровое формирование лучей (ЦФЛ) – единственная технология, позволяющая эффективно реализовать динамическую адаптацию обслуживаемой зоны покрытия на основе оперативного перенацеливания цифровых приемо-передающих лучей по наземным ячейкам при изменении нагрузки и для оптимизации двунаправленного трафика.

Т а б л и ц а 2.1 – Линии связи и диапазоны частот системы Thuraya

Направление	Абонентская линия (L-диапазон), МГц
Земля — космос	1626,5—1660,5
Космос — Земля	1525—1559

Пропускная способность на один КА (L-диапазон) составляет 13 750 симплексных каналов.

Для реализации такой системыи потребовалось существенно пересмотреть традиционные технические решения, использовавшиеся ранее при создании фазированных антенных решеток (ФАР). В отличие от

схемотехники ФАР, в каждом приемном канале ЦАР вместо фазовращателей устанавливаются аналого-цифровые преобразователи (АЦП) схема ЦАР приведена на рисунке 2.9.

В приемных каналах (рисунок 2.9.а) предусмотрено аналоговое формирование квадратурных составляющих принятых сигналов с оцифровкой каждой из квадратур отдельным АЦП. При этом тактирующие сигналы на все АЦП поступают от единого задающего генератора, чтобы все преобразователи по раскрыву ЦАР срабатывали синхронно. Совокупность цифровых отсчетов напряжений многосигнальной смеси поступает на процессор диаграммообразования, ориентирующий максимумы лучей ("вторичных каналов") по координатам центров наземных сот. Тем самым производится первичная пространственная селекция абонентов сообщений. Полученные отклики вторичных каналов далее независимо обрабатываются множеством канальных процессоров, осуществляющих выделение каналов с переменной полосой пропускания, квадратурно-фазовую демодуляцию сигналов и декодирование сообщений по традиционным стандартам TDMA/FDMA (именно такие приняты для обмена в системе Thuraya).

При работе ЦАР на передачу (рисунок 2.9.б). Передаваемые сигналы после квадратурно-фазовой модуляции в канальных процессорах в цифровом виде кодируются по механизмам TDMA/FDMA. Далее они поступают на процессор ЦФЛ, формирующий цифровой образ результирующего амплитудно-фазового распределения электромагнитного поля по раскрыву ЦАР, соответствующего заданной пространственной ориентации лучей ДН. Комплексные отсчеты цифровых напряжений сигналов с выхода процессора ЦФЛ подаются на ЦАП. После смещения по частоте и усиления по мощности преобразованные в аналоговый вид сигналы ЦАП поступают на питающие зажимы антенных элементов и излучаются в пространство. При работе на общую приемопередающую антенну приемный и передающий сегменты подключают к антенным элементам через коммутаторы.

Схема бортовой ЦАР Inmarsat-4 реализована по гибридному принципу. При приеме сигналов сначала используются аналоговые диаграммообразующие схемы (ДОС) – матрицы на 8 входов и 8 выходов. Окончательно многолучевая ДН синтезируется в цифровом формирователе на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ). При этом число модулей пространственного ДПФ равно числу СВЧ-матриц, а сигналы на входы процедуры ДПФ подаются с одноименных выходов аналоговых ДОС, например, со всех первых выходов аналоговых ДОС – на один модуль ДПФ, со всех вторых – на другой и т.д. Использование в первом слое диаграммообразования аналоговых матриц позволяет, по мнению разработчиков, упростить аппаратную реализацию гибридной ЦАР, заменив один модуль ДПФ размерностью 120 и более точек (сигнальных входов) несколькими модулями ДПФ меньшей размерности.

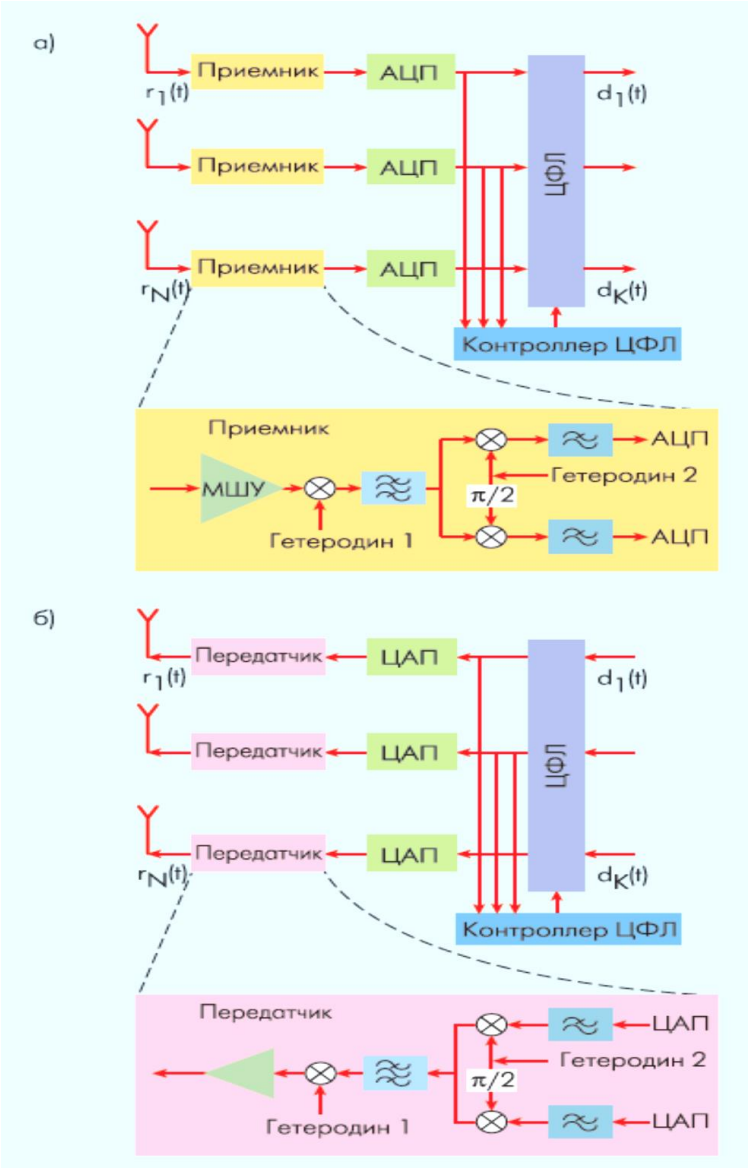


Рисунок 2.9 – а) приемный, б) передающий сегменты цифровой антенной решетки

Для схемы на рисунке 12.10. 120-точечная процедура ДПФ заменена восемью 15-точечными процедурами, что является более простым решением. Таким образом, при гибридной реализации ЦАР число малоразмерных БПФ определяется числом выходов аналоговой ДОС.

Подобная концепция многолучевой антенной решетки положена в основу японского проекта квазистационарной (Quasi-GEO) системы спутниковой связи, продвигаемого компанией Mitsubishi Electric [7]. Космическую часть данной системы, по версии Mitsubishi Electric, должны составлять несколько спутников, расположенных на эллиптической орбите с апогеем 42 тыс. км и наклоном орбиты 45°. На каждом спутнике планируется развернуть плоскую активную антенную решетку с ЦДО в S-диапазоне (2,6 ГГц). В результате формируется 160 узких цифровых лучей, обеспечивающих покрытие всей сухопутной территории Японии с поддержкой до 100 тыс.

каналов двухсторонней связи – примерно 5 млн. абонентов. Для антенны предусматривается использовать материал на основе кевлара толщиной 2 мм с плотностью 300 г/м2. Предполагаемый размер развернутой ЦАР может составить 45 на 45 м. При этом 16-элементный квадратный фрагмент такой антенны имеет коэффициент усиления 19,3 дБ.

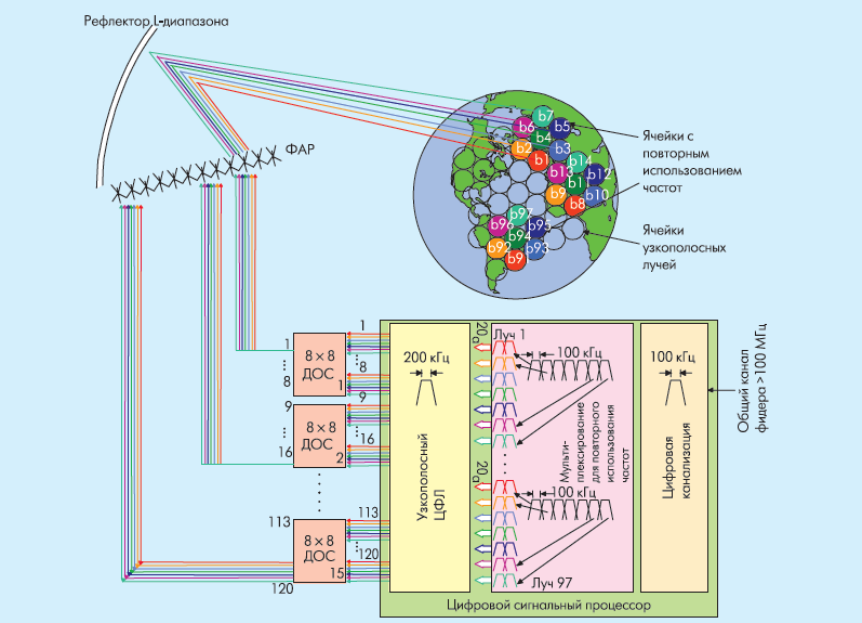


Рисунок 2.10 - Принцип построения бортовой ЦАР Inmarsat-4

Анализ публикаций позволяет сделать вывод, что одним из важных направлений развития антенн спутниковых систем является разработка эффективной многолучевой антенной системы с цифровым формированием лучей [7,8,9,10,11].

Систему спутниковой связи и вещания «Ямал» создало и эксплуатирует ОАО «Газпром космические системы». В состав системы входят:

- орбитальная группировка (телекоммуникационные спутники «Ямал-100», «Ямал-201», «Ямал-202»);

-наземная инфраструктура (наземный комплекс управления, контрольно измерительный комплекс, телепорты, центр спутникового цифрового телевидения, сеть земных станций в регионах России).

Спутники «Ямал-201» и «Ямал-100», работающие в орбитальной позиции 90 градусов восточной долготы, предназначены для обслуживания России и СНГ. Их зоны покрытия охватывают 95% территории России, на которой проживает 98% населения страны. На базе ресурса этих спутников оказываются услуги по организации каналов связи и передачи данных, видео-конференц-связи, распределительного телевидения, спутникового доступа в Интернет. На их основе реализуются сети центрального телевидения и телевидения российских регионов, дистанционного образования и телемедицины.

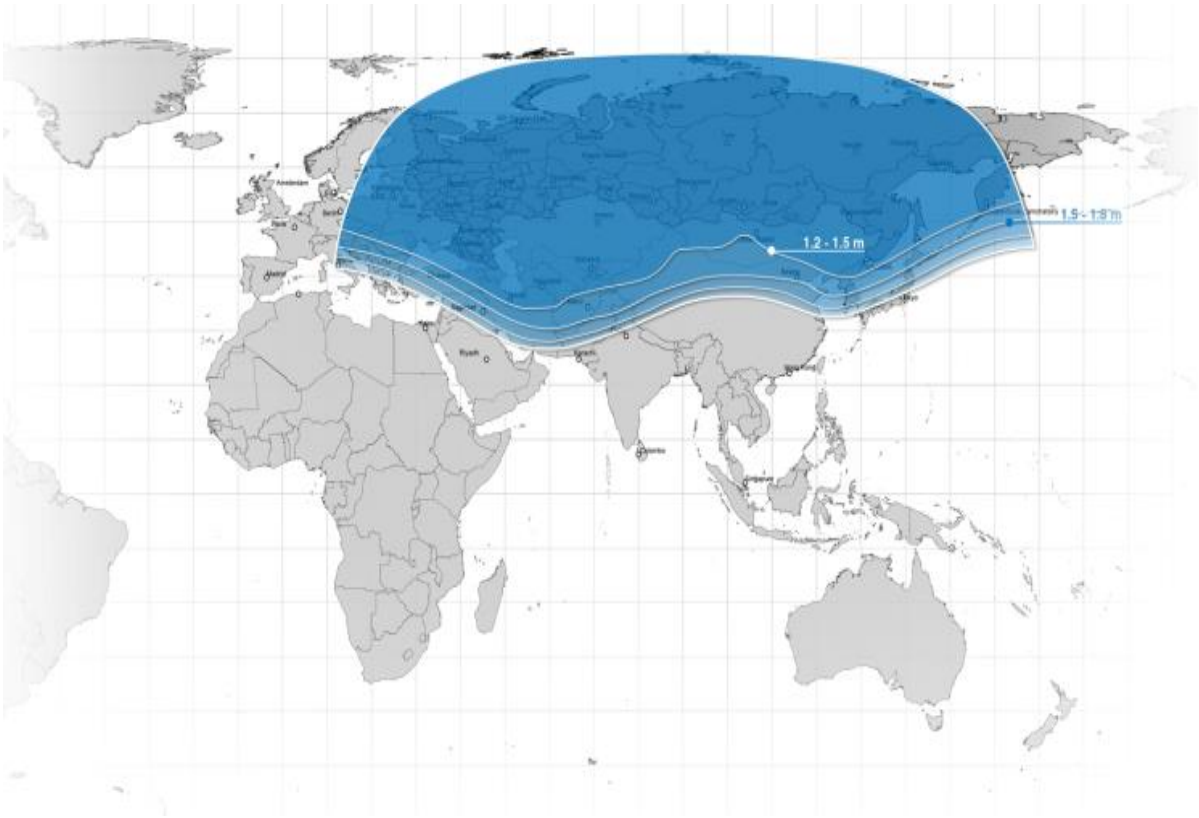


Рисунок 2.11 - Диаметры антенн приемных терминалов Ямал-201

Провела расчет параметров ДН и геометрии зеркала для спутника Ямал 201. Расчет был произведен на программе Wolfram mathematica.

Экспресс АМ6

Спутник связи «Экспресс-АМ6», дата запуска которого запланирована на 2014 год, создан ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» совместно с ФГУП «Научно-исследовательский институт радио» и компанией MDA Corporation (Канада) по заказу ФГУП «Космическая связь».

Экспресс-АМ6 создан на платформе «Экспресс 2000», также как Экспресс АМ5 и является спутником тяжелого класса негерметичного исполнения.

Предназначение спутника – цифровое телевидение, телефония, видеоконференции, VSAT сети, доступ в Интернет, передача данных, подвижная правительственная и президентская связь.

Зона покрытия спутника Экспресс-АМ6 будет состоять из:

- 14 транспондеров по 40 МГц С-диапазона образуют луч.

F1 – Европейская часть России и Западная Сибирь, луч F2 – Африка.

- 44 транспондера Ku-диапазона образуют FK1 – Европейская часть России и Западная Сибирь, луч FK2 – Центральная Европа, страны Ближнего Востока.

- 12 транспондеров Ka-диапазона.

- 2 транспондера L-диапазона.

На рисунке 2.13 приведена зона обслуживания спутника «Экспресс АМ6».

Т а б л и ц а 2.2 - Технические характеристики

Тип орбиты / точка стояния	Геостационарная / 53° в.д.
Точность удержания на орбите	±0,05 (север-юг / запад-восток)
Платформа	Экспресс 2000
САС	15 лет
Стабилизация	Трехосевая
Мощность, потребляемая полезной нагрузкой	14 кВт
Масса спутника	3200 кг
Транспондеры	14 транспондеров С-диапазона 44 транспондера Ku-диапазона 12 транспндеров Ka-диапазона 2 транспондера L-диапазона

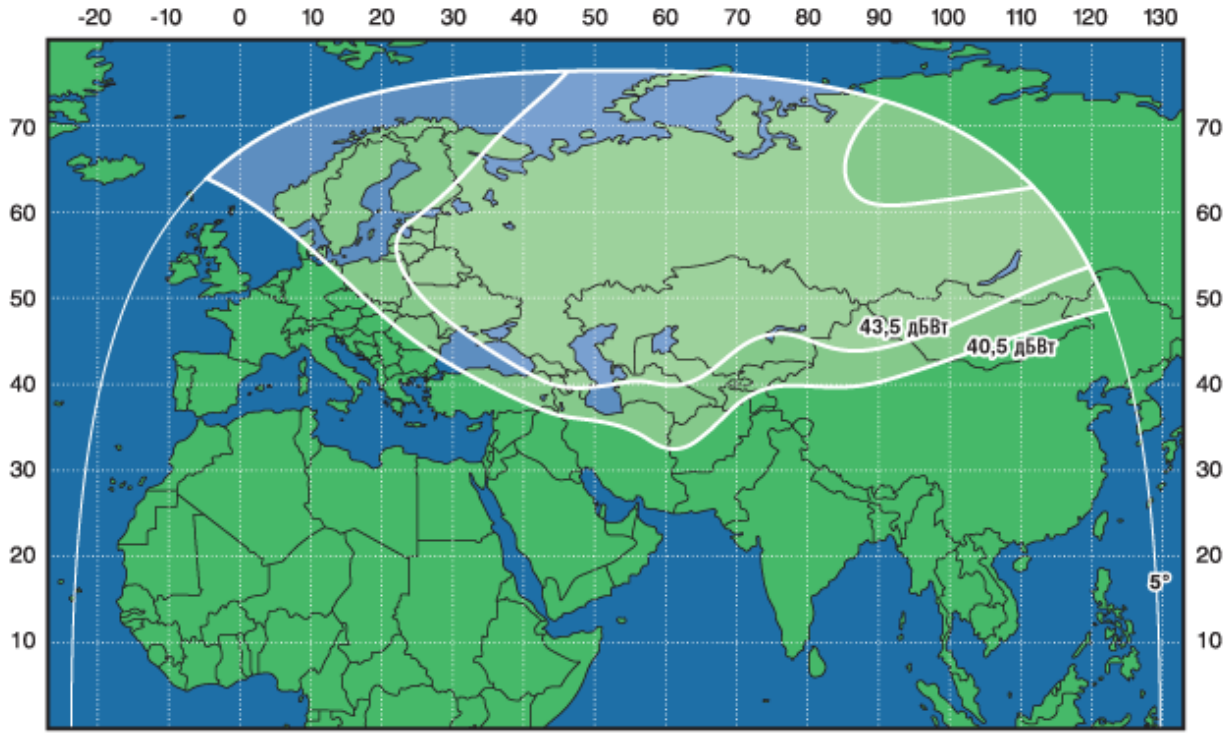
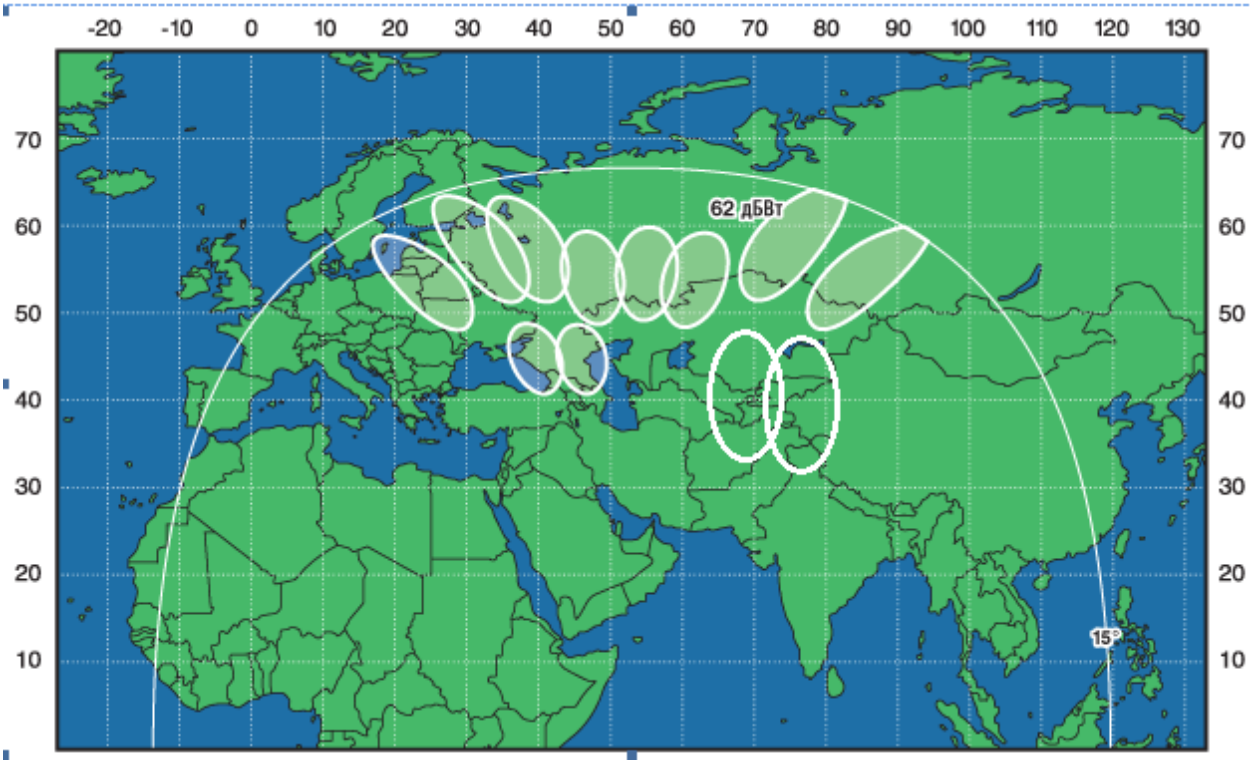


Рисунок 2.12 - Зона покрытия Экспресс АМ6

Продолжение рисунка 2.12



3 Расчетная часть

3.1 Расчет параметров ДН и геометрии зеркала

Исходные данные:

Частота и длина волны (Ка-диапазон):

ln[1]:= $\nu = 27 \cdot 10^9$; (Гц)

c = $3 \cdot 10^8$; (м/с)

λ = c/ ν// N (м)

Out[1]= 0.0111111

Радиус Земли на экваторе:

ln[2]:= Rz = 6731; (км)

Радиус ГСО:

ln[3]:= H = Rz+35786; (км)

Географические координаты городов, которые необходимо обеспечить связью, град:

ln[4]:= pts = {

{129 ,63}, (Якутск)

{138,72}, (Тикси)

{158,53}, (Петропавловск- Камчатский)

{143,46}, (Южно- Сахалинск)

{133,43}} (Владивосток);

ln[5]:= ListPlot [AppendTo [pts, {129,63}], Joined → True, Mesh→ All]

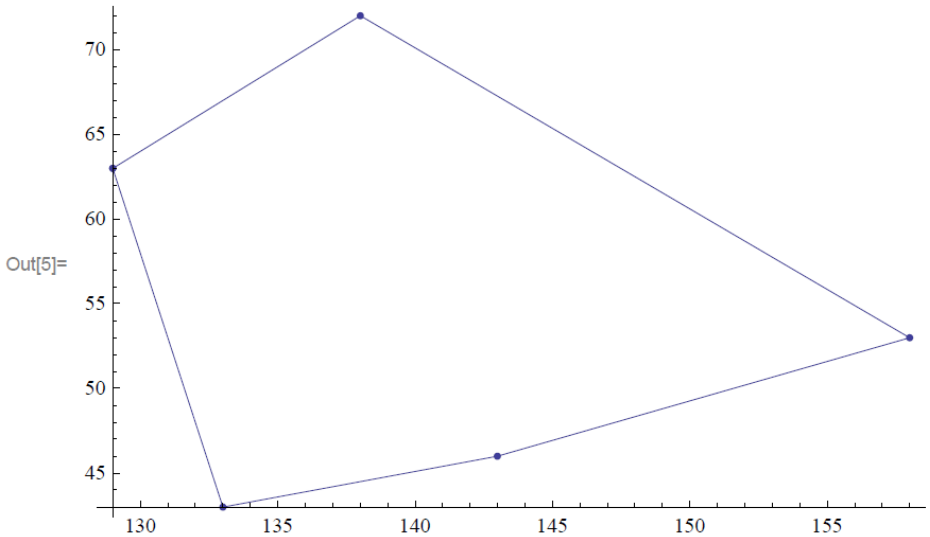


Рисунок 3.1 - Составляем списки из широт и долгот городов:

ln[6]:= μp = Table [pts [[1, 1]] $\frac{\pi}{180}$, {1, 1, Length [pts]}];
θp = Table [pts [[1, 2]] $\frac{\pi}{180}$, {1, 1, Length [pts]}];

Расчет:

ln[8]:= μ0 = $\frac{Max\,[\mu p]+Min[\mu p]}{2}$;

ln[8]:= μ0*$\frac{180}{\pi}$ // N (в градусах)

ln[8]:= 143.5

Координаты городов в СК КА

ln[10]:= Xp = -H+Rz Cos [θp] Cos[μp-μ0] ;
Yp = Rz Cos [θp] Sin [μp-μ0] ;
Zp = Rz Sin [θp] ;

Расстояния от городов до спутника:

ln[13]:= rp = $\sqrt{Xp^2 + Yp^2 + Zp^2}$;

Определение углов ДН:

ln[14]:= ψ = Table [Re [ArcCos [(Xp[[1]] Xp [[J]] + Yp [[1]] Yp [[J]] + Zp [[1]] Zp [[J]] / (rp [[J]] rp [[1]])]] {1, 1, Length [pts]}, {J,1, Length [pts] }];

ln[15]:= φ = Max [ψ];

ln[16]:= φ · $\frac{180}{\pi}$ // N

Out [16] = 3.00978

Принимаем углы раскрытия ДН по уровню -3дБ (ДН в виде окружности):

ln[17]:= F0= φ;
F1= F0;

Расчет геометрии параболической антенны

Максимальный результирующий КИП = 0,8 антенна имеет при следующем распределении амплитуд на апертуре (амплитуда на краях -10дБ):

ln[19]:= Δ = 0,3; (-10 дБ)
fa [rh_] := 1- (1-Δ) rh^2;

Амплитудное распределение на раскрыве:

ln[21]:= Plot [fa [rh], {rh,-1, 1}, AxesOrigin → {0, 0}]

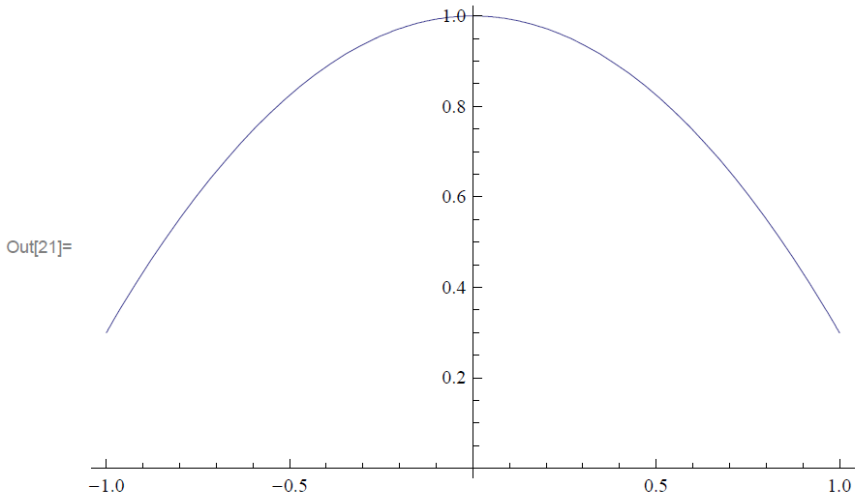


Рисунок 3.2 - Форма параболы антенны

Диаметр раскрыва антенны, который необходимо обеспечить для заданной ДН, м:

ln[23]:= a =.

ln[24]:= Da = 2a/ . FindRoot $[\frac{F[\frac{F0}{2}]}{F[0]} - \frac{\sqrt{2}}{2}, \{a, 0{,}5\}]$

Out[25]= 0,24148

ln[26]:= a= Da/2;

Наиболее оптимальное фокусное расстояние параболы (наиболее оптимальный КИП)бм:

ln[27]:= f= a/1,25

Out[27]= 0,0965919

Принимаемое фокусное расстояние (из компоновки), м

ln[28]:= f=2;

Уравнение параболы в полярной СК:

ln[29]:= ρ[α_]: = $\frac{2f}{1+Cos[\alpha]}$

Угол раскрыва , рад:

ln[30]:= α0= 2 ArcTan [a/2f]

Out[31]= 0,0603516

Уравнение параболы в декартовой СК:

ln[32]:= y:= x^2/8;

ln[33]:= Plot [y, {x, -a, a}, AspectRatio → Automatic]

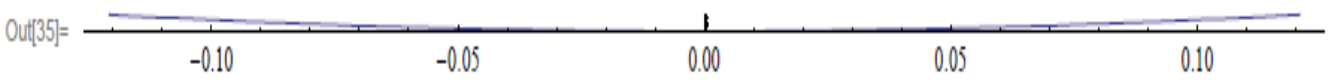


Рисунок 3.3.- диаметр раскрыва антенны

Технические допуски на точность выполнения поверхности зеркала

ln[36]:= δ дц = λ/16

Out[36]= 0,000694444

ln[37]:= δ дц = $\frac{\lambda}{8 \cdot (1+Cos\,[\alpha 0/2])}$

Out[37]= 0,000694603

3.2 Энергетический расчет линии «вниз» и «вверх» для спутниковой системы связи

Линии спутниковой связи состоят из двух участков: Земля-спутник и спутник-Земля. В энергетическом смысле оба участка оказываются напряженными, первый – из-за стремления к уменьшению мощности передатчиков и упрощению земных станций (в особенности в системах с большим числом малых приемопередающих земных станций, работающих в необслуживаемом режиме), второй – из-за ограничений на массу, габаритные размеры и энергопотребление бортового ретранслятора, лимитирующих его мощность.

Основная особенность спутниковых линий – наличие больших потерь сигнала, обусловленных затуханием (ослаблением и рассеянием) его энергии на трассах большой физической протяженности. Так, при высоте орбиты ИСЗ 36 тыс. км затухание сигнала на трассе может достигать 200 дБ. Помимо этого основного затухания в пространстве сигнал в линиях спутниковой связи подвержен влиянию большого числа других факторов, таких как поглощение в атмосфере, фарадеевское вращение плоскости поляризации, рефракция, деполяризация и т.д. С другой стороны, на приемное устройство спутника и земной станции кроме собственных флуктуационных шумов воздействуют разного рода помехи в виде излучения Космоса, Солнца и планет. В этих условиях правильный и точный учет влияния всех факторов позволяет осуществить оптимальное проектирование системы, обеспечить ее уверенную работу и в то же время исключить излишние энергетические запасы, приводящие к неоправданному увеличению сложности земной и бортовой аппаратуры.

Определение параметров приемной земной станции при заданной ЭИИМ транспондера (Односигнальный режим).

В односигнальном режиме ЭИИМ сигнала обычно достигает максимальной ЭИИМ транспондера. В этом случае возникает задача определения минимальны требований к параметрам ЗССС способной устойчиво принять такой сигнал.

Дано:

Т а б л и ц а 3.1 – Параметры сигнала

Параметр	Наименование	Значения
Eb/NoIF	Требуемое значение *Eb/No* на входе демодулятора по шлейфу ПЧ	11, дБ
IR	Скорость передачи полезной информации	24, Кбит/с
OH	Скорость передачи служебной информации	30, %
FEC	Скорость кода	7/8
M	Кратность модуляции (2 – QPSK, 3-8PSK, 4-16QAM)	8
LM	Системный запас по мощности	65, дБ
α	коэффициентом увеличения отводимой сигналу полосы по сравнению с занимаемой (α = (1 + *r*) где r - roll-off factor)	1,4
KR	Коэффициент готовности линии связи	99,7, %

Т а б л и ц а 3.2 -Параметры спутникового транспондера

Параметр	Наименование	Значения
λ *KA*	Долгота подспутниковой точки	20, град
FUP	Центральная частота транспондера на линии вверх	25, ГГц
FDN	Центральная частота транспондера на линии вниз	20, ГГц
G/T	Добротность приемной антенны транспондера	15, дБ/^{0}К
EIRPSAT	Максимальная эквивалентная изотропная излучаемая мощность транспондера	68, дБВт
SFD	Плотность потока мощности на входе приемной антенны Транспондера обеспечивающая максимальную мощность на выходе передатчика	35, дБВт/м^2
FBW	Рабочая полоса частот транспондера	45, МГц
$LS_{G/T}$	Контурные потери добротности транспондера в направлении на передающую ЗССС	20, дБ
LS_{EIRP}	контурные потери ЭИИМ в направлении на приемную ЗССС	15, дБ

Т а б л и ц а 3.3 - Параметр передающей ЗССС

Параметр	Наименование	Значение
ϕ *TXES*	Географическая широта места ЗССС	0,733, град
λ*TXES*	Географическая долгота места ЗССС	1,257, град
DaTX	Диаметр антенны ЗССС	15, М
η*TXES*	КИП антенны на передачу	6
LTXWG	Потери в передающем волноводе	10, дБ
LTX-TR	Потери из-за ошибок наведения	6, дБ

Т а б л и ц а 3.4 - Параметры принимающей ЗССС

Параметр	Наименование	Значение
ϕ *RXES*	Географическая широта места ЗССС	0,96, град
λ*RXES*	Географическая долгота места ЗССС	1,309, град
η*RXES*	КИП антенны на прием	18
LRXWG	Потери в приемном волноводе	9, дБ
TLNA	Температура шума МШУ	450, ^{0}К
LRX-TR	Потери из-за ошибок наведения	35, дБ

3.2.1 Энергетический расчет спутниковой линии связи «вниз»

Параметры передающей космической станции: координата 75^0 в.д.

Параметры приемной земной станции: координаты 20^0 в.д. 55^0 с.ш; Диаметр антенны 1,6 м; КПД $_{КС=ЗС}$ 0,85; отношение $P_c/P_ш$ на приеме 15 дБ (31,6223 раза).

Определение параметров сигнала

Определим символьную скорость:

$$SR = \frac{IR + OH}{FEC \cdot \log(M)} \tag{3.1}$$

$$SR = \frac{24 + 30}{\frac{7}{8} \cdot \log(8)} = 68,337 \text{ кбайт}$$

Определим полосу частот, выделяемую для сигнала в полосе транспондера:

$$B_{alc} = \alpha \cdot SR \tag{3.2}$$

$$B_{alc} = 1,4 \cdot 68,337 = 95,672 \quad \text{кГц}$$

Определение затухания сигнала на линии вниз

Определим расстояние до спутника от приемной ЗССС:

$$R_{DN} = 42645 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(\varphi_{ЗС}{}^{0}) \cdot \cos(\beta_{ЗС}{}^{0} - \beta_{КС}{}^{0})} \tag{3.3}$$

$$R_{DN} = 42645 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(55^{0}) \cdot \cos(20^{0} - 75^{0})} = 4,052 \cdot 10^{4} \quad \text{км}$$

Затухание энергии в свободном пространстве:

$$L_{DN} = 185,04 + 10 \cdot \log(1 - 0,2954 \cdot \cos(\phi_{RXES}) \cdot \cos(\lambda_{KA} - \lambda_{RXES})) + 20 \cdot \log(F_{DN}) \tag{3.4}$$

$$L_{DN} = 185,04 + 10 \cdot \log(1 - 0,2954 \cdot \cos(0,96) \cdot \cos(20 - 1,309)) + 20 \cdot \log(20) = 210,265 \quad \text{дБ}$$

Угол места антенны принимающей земной станции: $R_{KA} = 42165$ км $R_{E} = 6371$ км

$$\beta_{RX} = a\sin\left(\frac{R^{2}{}_{KA} - R_{E}^{2} - R_{DN}^{2}}{2 \cdot R_{E} \cdot R_{DN}}\right) \tag{3.5}$$

$$\beta_{RX} = a\sin\left(\frac{42165^{2} - 6371^{2} - (4,052 \cdot 10^{4})^{2}}{2 \cdot 6371 \cdot 4,052 \cdot 10^{4}}\right) = 0,186 \quad \text{град}$$

Ослабление плотности потока мощности в атмосфере в условиях чистого неба:

$$L_{atmClearSky} = \frac{F_{DN}^{0,58} \cdot 0,023 + 0,006}{\sin(\beta_{RX})} \tag{3.6}$$

$$L_{atmClearSky} = \frac{20^{0,58} \cdot 0,023 + 0,006}{\sin(0,186)} = 0,74 \quad \text{дБ}$$

В зависимости от коэффициента готовности частоты, угла места и климатической зоны расположения принимающей ЗССС определим ослабление сигнала в осадках *LatmRain*.

Присваиваем значения

F=20 $k_{n} = 0,07510000$ $k_{v} = 0,06910000$ $\alpha_{n} = 1,09900000$ $\alpha_{v} = 1,06500000$

$h_{s} = 0,6$ $\phi_{ES} = 36 \cdot \frac{\pi}{180}$ $\beta_{ES} = 30$

$$h_{R} = 5 - 0,075 \cdot (\phi_{ES} - 23) \tag{3.7}$$

$$h_R = 6,678$$

$$L_S = \frac{h_R - h_S}{\sin(\beta_{ES})} \tag{3.8}$$

$$L_S = 12,156$$

$$L_G = L_S \cdot \cos(\beta_{ES}) \tag{3.9}$$

$$L_G = 1,875$$

$R_{0,01} = 15$

$$L_0 = 35 \cdot e^{-0,01 \cdot R_{0,01}}$$

$$L_0 = 27,948$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{L_G}{L_0}}$$

$$r = 0,937$$

$$k = \frac{k_n + k_v + (\mathrm{k}_n - \mathrm{k}_v) \cdot \cos(\beta_{ES})^2 \cdot \cos(2 \cdot \tau)}{2}$$

$$k = \frac{0,07510000 + 0,06910000 + (0,07510000 - 0,06910000) \cdot \cos(30)^2 \cdot \cos(2 \cdot 45)}{2} = 0,072$$

$$\alpha = \frac{k_n \cdot \alpha_n + k_v \cdot \alpha_n + (\mathrm{k}_n \cdot \alpha_n - \mathrm{k}_v \cdot \alpha_v) \cdot \cos(\beta_{ES})^2 \cdot \cos(2 \cdot \tau)}{2 \cdot k}$$

$$\alpha = \frac{0,07510000 \cdot 1,09900000 + 0,06910000 \cdot 1,09900000 + (0,07510000 \cdot 1,09900000 - 0,06910000 \cdot}{2 \cdot 0,072}$$

$$\frac{\cdot 1,06500000) \cdot \cos(30)^2 \cdot \cos(2 \cdot 45)}{2 \cdot 0,072} = 1,099$$

$$\gamma_R = k \cdot R_{0,01}^{\alpha}$$

$$\gamma_R = 0,072 \cdot 15^{1,099} = 1,414$$

$$L_{atmRain} = \gamma_R \cdot L_S \cdot r$$

$$L_{atmRain} = 1,414 \cdot 12,156 \cdot 0,937 = 16,108$$

$$L_{atmDN} = L_{atmClearSky} + L_{atmRain}$$

$$L_{atmDN} = 0,74 + 16,108 = 16,848$$

Определение параметров принимающей ЗССС
Эквивалентная шумовая температура земной станции:

$$T_A = 14 + \frac{180}{\sin(\beta_{RX})} \tag{3.17}$$

$$T_A = 14 + \frac{180}{\sin(0,186)} = 987,757 \quad \text{К}$$

$$T_{atm} = 260 \cdot (1 - 10^{-0,01 \cdot L_{atmDN}}) \tag{3.18}$$

$$T_{atm} = 260 \cdot (1 - 10^{-0,01 \cdot 16,848}) = 83,6$$

$$T_{RXWG} = 290 \cdot (1 - 10^{-0,1 \cdot L_{RXWG}}) \tag{3.19}$$

$$T_{RXWG} = 290 \cdot (1 - 10^{-0,1 \cdot 9}) = 253,491$$

$$T_{ES} = (\mathrm{T}_A + \mathrm{T}_{atm}) \cdot 10^{-0,1 \cdot L_{RXWG}} + T_{RXWG} + T_{LNA} \tag{3.20}$$

$$T_{ES} = (987,757 + 83,6) \cdot 10^{-0,1 \cdot 9} + 253,491 + 450 = 838,367 \quad \text{К}$$

Определение спектральной плотности шумов

Спектральная плотность собственных шумов земной станции (на входе МШУ):

$$N_{0ES} = -228,6 + 10 \cdot \log(\mathrm{T}_{ES}) \tag{3.21}$$

$$N_{0ES} = -228,6 + 10 \cdot \log(838,367) = -199,366 \text{ дБВт/Гц}$$

Отступление от насыщения транспондера по выходу в рабочей точке

$$OBO_{MS} = 20 \quad \text{дБ}$$

По входу

$$IBO_{MS} = 15 \quad \text{дБ}$$

$$N_0 = -207,15 + 20 \cdot \log(\mathrm{F}_{UP}) - \frac{G}{T} + EIRP_{SAT} - OBO_{MS} - SFD + IBO_{MS} \tag{3.22}$$

$$N_0 = -207,15 + 20 \cdot \log(25) - 15 + 68 - 20 - 35 + 15 = -151,191$$

Обозначим

$$g_a = 10^{0,1 \cdot G_{ARX}} \qquad g_a = 1,585 \cdot 10^6$$

Тогда минимальный коэффициент усиления приемной антенны

$$G_{ARX\min} = 10 \cdot \log(g_a) \qquad (3.23)$$

$$G_{ARX\min} = 10 \cdot \log(1,585 \cdot 10^6) = 62 \text{ дБ}$$

А минимальный диаметр приемной антенны определим из выражения:

$$D_{aRX\min} = 10^{\frac{1}{20} \cdot (G_{ARX} - 20,4 - 20 \cdot \log(F_{DN}) - 10 \cdot \log(\eta_{RXES}))}$$

$$D_{aRX\min} = 10^{\frac{1}{20} \cdot (62 - 20,4 - 20 \cdot \log(20) - 10 \cdot \log(18))} = 1,417 \qquad (3.24)$$

3.2.2 Энергетический расчет спутниковой линии связи «вверх»

Определение затухания сигнала на линии вверх

Параметры передающей земной станции: координаты 42^0 в.д. 20^0 с.ш. ; диаметр антенны 1,6 м; отношение $P_c/P_ш$ на передаче 15 дБ (31,6228 раза); $КПД_{АФТ\ ЗС}$ = 0,8.

Параметры приемной космической станции: координата 72^0 в.д. ; коэффициент шума приемника $К_ш$=15; $КПД_{АФТ\ КС}$ = 0,8.

Расстояние до спутника от передающей ЗССС определяется по формуле (3.3):

$$R_{UP} = 42645 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(42^0) \cdot \cos(20^0 - 72^0)} = 3,966 \cdot 10^4 \text{ км}$$

Угол места антенны передающей земной станции определяется по формуле (3.5):

$$R_{KA} = 42165 \text{ км} \qquad R_E = 6371 \text{ км}$$

$$\beta_{TX} = a\sin\left(\frac{R^2{}_{KA} - R_E^2 - R_{UP}^2}{2 \cdot R_E \cdot R_{UP}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\beta_{TX} = a\sin\left(\frac{42165^2 - 6371^2 - (3,966 \cdot 10^4)^2}{2 \cdot 6371 \cdot 3,966 \cdot 10^4}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 18,997 \text{ град}$$

Ослабление плотности потока мощности в атмосфере в условиях чистого неба определяется по формуле (3.6):

$$L_{atmClearSkyUP} = \frac{(3,966 \cdot 10^4)^{0,58} \cdot 0,023 + 0,006}{\sin(18,997)} = 1,057 \text{ дБ}$$

В зависимости от коэффициента готовности, частоты сигнала , угла места и климатической зоны расположения принимающей ЗССС определим ослабление сигнала в осадках *LatmRainUP*.

$$L_{atmRain} = 56 \text{ дБ}$$

Определим суммарное ослабление сигнала в атмосфере:

$$L_{atmUP} = 1,057 + 56 = 57,057 \text{ дБ} \quad (3.25)$$

Определение ЭИИМ передающей ЗССС

Определим ЭИИМ передающей земной станции:

$$EIRP_{TXES} = SFD + 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot \mathrm{R}_{UP}{}^2) + L_{atmUP} + L_{TXTR} \quad (3.26)$$

$$EIRP_{TXES} = 35 + 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot (3,966 \cdot 10^4)^2) + 57,057 + 6 = 201,016$$

Определение необходимой мощности передатчика ЗССС

Усиление антенны на передачу:

$$G_{ATX} = 20,4 + 20 \cdot \log(\mathrm{D}_{aTX}) + 20 \cdot \log(\mathrm{F}_{UP}) + 10 \cdot \log(\eta_{TXES}) \quad (3.27)$$

$$G_{ATX} = 20,4 + 20 \cdot \log(15) + 20 \cdot \log(3,966 \cdot 10^4) + 10 \cdot \log(6) = 79,662$$

Рабочая мощность на фланце усилителя мощности:

$$P_{TXClearSky} = EIRP_{TXES} - G_{ATX} + L_{TXWG} \quad (3.28)$$

$$P_{TXClearSky} = 201,016 - 79,662 + 10 = 131,354 \text{ дБВт}$$

3.2.3 Энергетический расчет спутниковой линии связи «вниз» для мобильных абонентов

Исходные данные: Диапазон частот для спутника Ямал 201 = 11 ГГц; для спутника Экспресс АМ6 = 20 ГГц.

Определение параметров сигнала

Символьная скорость определяется по формуле (3.1):

$$SR = \frac{24 + 30}{\frac{7}{8} \cdot \log(8)} = 68,337 \text{ кбайт}$$

Полоса частот, выделяемая для сигнала в полосе транспондера определим по фрмуле (3.2):

$$B_{alc} = 1,4 \cdot 68,337 = 95,672 \text{ кГц}$$

Определение затухания сигнала на линии вниз

Расстояние между передающей (КС) и приемной (ЗС) антеннами определяется по формуле (3.3):

$$R_{DN} = 42645 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(55^0) \cdot \cos(20^0 - 75^0)}$$

$$R_{DN} = 4,052 \cdot 10^4 \quad \text{км}$$

Затухание энергии в свободном пространстве определяется по формуле (3.4):

$$L_{DN} = 185,04 + 10 \cdot \log(1 - 0,2954 \cdot \cos(0,69) \cdot \cos(20 - 1,309)) + 20 \cdot \log(4,052 \cdot 10^4) = 210,265 \text{ дБ}$$

Угол места антенны принимающей земной станции определяется по формуле (3.5):

$R_{KA} = 42165$ км $\quad R_E = 6371$ км

$$\beta_{RX} = a\sin\left(\frac{42165^2 - 6371^2 - (4,052 \cdot 10^4)^2}{2 \cdot 6371 \cdot 4,052 \cdot 10^4}\right) = 0,332 \text{ град}$$

Спутники работают на разных частотах:

$$f_{201} = 11 \cdot 10^9 \quad \text{Гц} \qquad f_{AM6} = 20 \cdot 10^9 \text{ Гц}$$

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

Определим длину волны для спутников Ямал-201 и Экспресс АМ6:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{3.29}$$

Определим длину волны для спутника Ямал-201:

$$\lambda_{Ямал201} = 0,027 \quad \text{м}$$

Определим длину волны для спутника Экспресс АМ6:

$$\lambda_{AM6} = 0,015 \quad \text{м}$$

Определение затухания :

$$L_0 = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot (\text{К}_{DN} \cdot 10^3)^2}{\lambda^2} \tag{3.30}$$

Определим затухание для спутника Ямал-201:

$$L_{0Ямал201\downarrow} = 3,486 \cdot 10^{20} \text{ дБ}$$

Определим затухание для спутника Экспресс АМ6:

$$L_{0AM6\downarrow} = 1,152 \cdot 10^{21} \text{ дБ}$$

Определим коэффициент усиления:

$$G_A = \frac{10 \cdot 0,8 \cdot 1,6^2}{\lambda} \tag{3.31}$$

Определим коэффициент усиления для спутника Ямал-201:

$$G_{AЯмал201} = 2,753 \cdot 10^4$$

Определим коэффициент усиления для спутника Экспресс АМ6:

$$G_{AAM6} = 9,102 \cdot 10^5$$

b=1,2 дБ – коэффициент запаса для линии «вниз».

$k = 1,32 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана

$\Delta f = 95,672 \cdot 10^3$ Гц

Отношение $\frac{P_c}{P_ш} = 15$ дБ

$L_{RAIN} = 5,6$

EIRP=10^5

Мощность приемника ЗС:

$$P = \frac{G_A \cdot \eta_{ЗС} \cdot \eta_{КС} \cdot \mathrm{EIRP}}{L_0 \cdot \mathrm{L}_{RAIN}} \cdot \frac{P_c}{P_ш} \tag{3.32}$$

$$P = \frac{2,753 \cdot 10^4 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 10^5}{3,486 \cdot 10^{20} \cdot 3,631} \cdot 31,623 = -133,563 \text{ Вт}$$

Определяем мощность приемника ЗС для второго спутника Экспресс АМ6 по формуле (3.37) EIRP=$10^{6,2}$:

$P_{приемАМ6}$=-111,563 Вт

3.2.4 Энергетический расчет спутниковой линии связи «вверх» для мобильных абонентов

Исходные данные: Диапазон частот для спутника Ямал 201 = 11 ГГц; для спутника Экспресс АМ6 = 20 ГГц.

Определение затухания сигнала

Расстояние между передающей (КС) и приемной (ЗС) антеннами определяется по формуле (3.3):

$$R_{DN} = 42645 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(42^0) \cdot \cos(20^0 - 72^0)} = 3,966 \cdot 10^4 \quad \text{км}$$

Угол места антенны принимающей земной станции определяется по формуле (3.5):

$R_{KA} = 42165$ км $\quad R_E = 6371$ км

$$\beta_{RX} = a\sin\left(\frac{42165^2 - 6371^2 - (3,966\cdot 10^4)^2}{2\cdot 6371\cdot 3,966\cdot 10^4}\right) = 0,332 \quad \text{град}$$

Спутники работают на разных частотах:

$$f_{201} = 14\cdot 10^9 \quad \text{Гц} \qquad f_{AM6} = 30\cdot 10^9 \ \text{Гц}$$

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

Определим длину волны для спутников Ямал-201 и Экспресс АМ6 с помощью формулы (3.34):

$$\lambda_{Ямал201} = 0,021 \quad \text{м}$$

$$\lambda_{AM6} = 0,015 \quad \text{м}$$

Определим затухания с помощью формулы (3.35) :

$$L_{0Ямал201\downarrow} = 5,409\cdot 10^{20} \ \text{дБ}$$

$$L_{0AM6\downarrow} = 1,104\cdot 10^{21} \ \text{дБ}$$

Определяем коэффициент усиления по формуле (3.31):

$$G_{AЯмал201} = 4,46\cdot 10^4$$

$$G_{AAM6} = 2,33\cdot 10^5$$

b=1 дБ – коэффициент запаса для линии «вверх».

$k = 1,32\cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана

$\Delta f = 10\cdot 10^3$ Гц

Отношение $\frac{P_c}{P_ш} = 15$ дБ

$L_{RAIN} = 5,6$

EIRP=10^5

Мощность передатчика ЗС:

Параметры сигнала:

M=8 α=1,2 FEC=7/8 OH=10 Q для спутника Ямал 201 равен 15,85дБ, для спутника Экспресс АМ6 равен 100 д.

$$P = \frac{L_{0\uparrow}\cdot \mathrm{L}_{RAIN}\cdot \mathrm{k}\cdot \alpha\cdot \frac{IR}{FEC\cdot \log_2 8}}{\mathrm{Q}\cdot \frac{8\cdot 0,6^2}{\lambda_\uparrow}\cdot \eta_{ЗС}\cdot \eta_{КС}}\cdot \frac{P_c}{P_ш} \qquad (3.33)$$

Построим сравнительные графики мощности приемников:

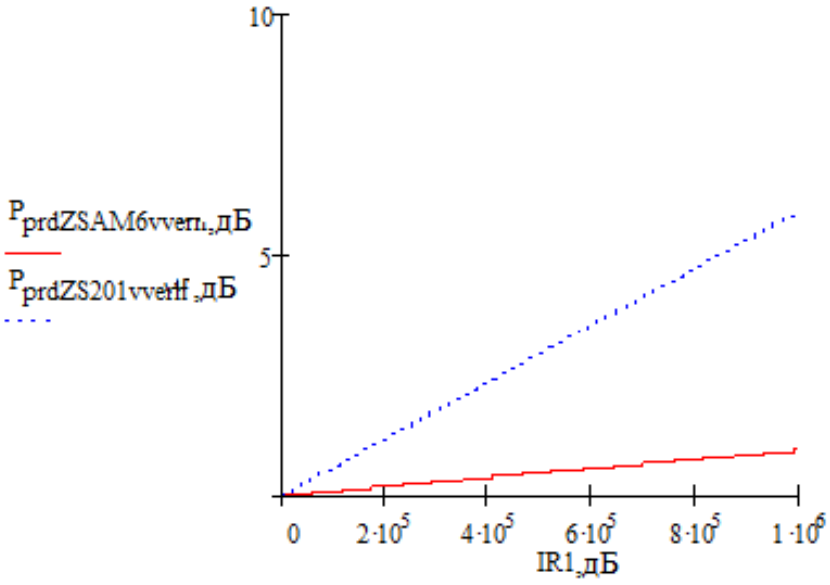


Рисунок 3.4 - Графики сравнения мощности передатчиков в Ku и Ka диапазонах

По графику видим, что спутнику, работающему в Ka диапазоне потребуется наименьшее количество мощности, чем в Ku диапазоне.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда

Согласно темы дипломного проекта приемо-передающее оборудование космического терминала устанавливается в здании, в помещении оператора, в которое входит модем LinkStar. Чтобы обеспечить условия труда и требований техники безопасности при разработке системы спутниковой связи необходимо следующее: достаточное освещение рабочего места, полная техническая исправность оборудования, его электрическая безопасность, достаточная пожарная безопасность помещения, оптимальный микроклимат. К опасным и вредным факторам, воздействию которых подвергаются инженера, можно отнести: возможность поражения электрическим током, при электронеисправности, работа в микроклимате с недопустимыми параметрами, работа при недостаточной освещенности рабочего места. Оборудование питается от сети напряжением 220 В, частотой 50 Гц, полная мощность 1,5 кВт.

В соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 помещение можно отнести к помещениям без повышенной опасности, т.к. это помещение без пыльное, сухое, с нормальной температурой и изолирующими паркетными полами, не имеющие заземленных металлоконструкций. Согласно СНиП II-4-79 площадь кабинетов вычислительной техники с настольными вычислительными машинами должна удовлетворять условию- не менее 3м^2 на одно рабочее место. Из рисунка видно, что площадь на одно рабочее место равно 3,55 м^2, то есть, данное помещение удовлетворяет требованиям. Кратность воздухообмена в помещении узла также регламентируется СНиП II-68-78, она должна составлять 30м^3/час на одно место, так как, естественная циркуляция воздуха не возможна и для поддержания необходимой температуры воздуха необходимо устанавливать дополнительные средства вентиляции или кондиционирования воздуха.

Размеры рабочей аудитории: высота помещения-3м, ширина-2,8м, длина-3,8м. Общая площадь помещения составляет 10,64м^2 . Остекление комнаты двойное с пластиковым переплетом, размеры окна 1000х1050. По разряду зрительной работы помещение относится к IV разряду в соответствии с ГОСТ 12.1.028

Производственный персонал, занимающийся обслуживанием системы, состоит из четырех человек: два инженера-техника и два инженера-программиста. Приемо-передающее оборудование находится в отдельной звукоизоляционной комнате, где с помощью кондиционера поддерживается постоянная температура 20 С^0, для искусственного охлаждения оборудования. Система LinkStar эксплуатируется 24 часа в сутки, в 3 смена и для

технического обслуживания задействовано 3 человека. Инженеры по эксплуатации работают в одну дневную смену по 8 часов в сутки, 5 дней в неделю с перерывом на обед.

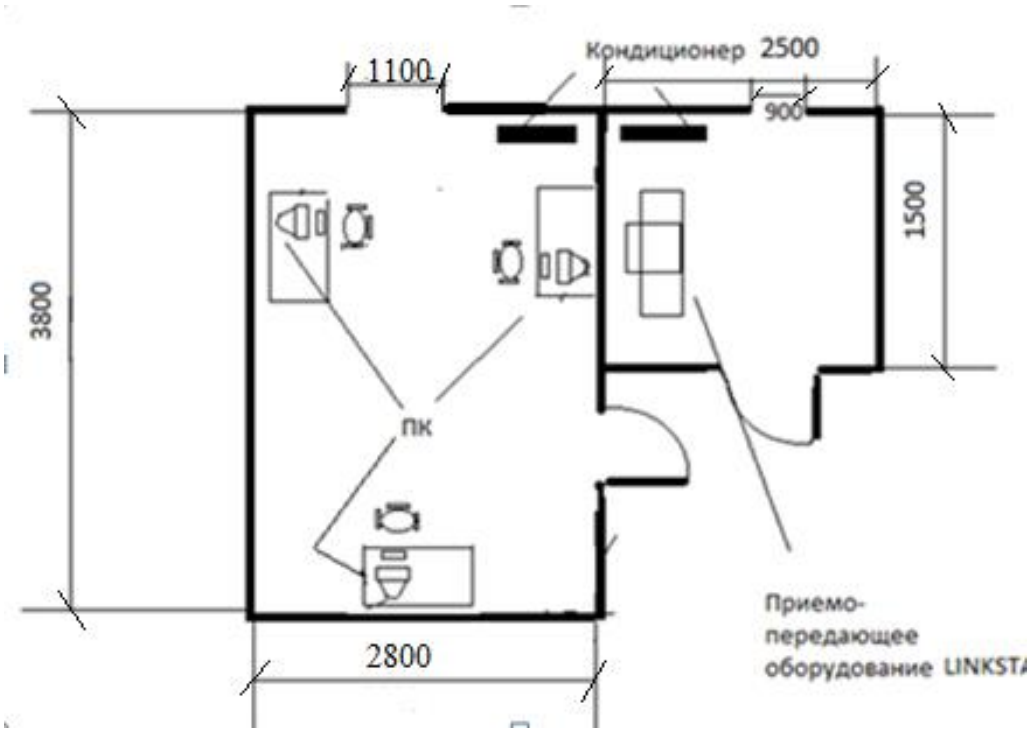


Рисунок 4.1 - План рабочего помещения

Т а б л и ц а 4.1 - Технические характеристики оборудования

Формат	DVB/MPEG-2 Транспортный поток (ISO/IEC 13818) DVB, мультипротокольная инкапсуляция (MPE) для вставки IP PCR данных
Символьные скорости	От 5 до 42,5 Мс/с
Частота ПЧ на передачу	950-1450 МГц
Частота ПЧ на приеме	950-2150 МГц
Потребляемая мощность, Вт	125
Габариты	23см х 30см х 4,3см
Ток, А	2А

4.2 Анализ естественного освещения

Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее благоприятным. По конструктивным особенностям естественное освещение подразделяется на боковое, осуществляемое через световые проемы в наружных стенах (окна); верхнее, осуществляемое через световые проемы в покрытии и фонари; и комбинированное.Естественное освещение характеризуется коэффициентом естественной освещенности КЕО (е). КЕО – отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба, к значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода[3].

Исходные данные: длина L= 3,8м, ширина B=2,8м, высота H=3м, высота окна h_0=1,8м. Окна начинаются с высоты h_p=0.8м. Площадь световых проемов S_0 =5м^2. Освещение одностороннее.

Спроектировать боковое, одностороннее естественное освещение. Предусмотреть использование двойного оконного стекла в деревянных спаренных вертикально расположенных переплетах

Рассчитаем площадь боковых световых проемов комнаты, необходимой для создания нормируемой освещенности на рабочих местах. При боковом освещении определяют площадь световых проемов(окон), S_0 обеспечивающую нормированные значения КЕО, по формуле[1]:

$$100\frac{S_0}{S_n} = \frac{e_н \cdot \eta_0}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд} \cdot K_з \qquad (4.1)$$

где - площадь световых проемов при боковом освещении,м2;

Sn- площадь пола помещения, м^2;

ен- нормированное значение КЕО;

Кз- коэффициент запаса;

Кзд- коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями;

η_0- световая характеристика окон;

r_1- коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

τ_0- общий коэффициент светопропускания, определяется по формуле:

Определим нормированное значение коэффициента естественной освещенности для района расположения :

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \qquad (4.2)$$

где τ_1- коэффициент светопропускания материала;

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема;

τ_3 - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях;

τ_4 - коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах.

Определим нормированное значение коэффициента естественной освещенности для района расположения :

$$e_н = e \cdot m \cdot c \qquad (4.3)$$

где e- нормированное значение КЕО. (таблица 4.2)

m- коэффициент светового климата;

c- коэффициент солнечности;

Т а б л и ц а 4.2 - Значения КЕО для различных условий и видов работ

Разряд работы	Виды работы по степени точности	Размеры предметов, которые необходимо различать при работе, мм	Нормы КЕО
			При боковом освещении
1	Особо точные	0,1 и менее	3,5
2	Высокой точности	от 0,1 до 0,3	2
3	Точные	от 0,3 до 1,0	1,5

Так как предприятие находится в городе Алматы, т.е. IV световой пояс. c= 0,75, m=0,9, e=2 (для работ высокой точности при боковом освещении).

$$e_н = 0,75 \cdot 0,9 \cdot 2 = 1,35\%$$

Определим η_0 из таблицы 4.3

Т а б л и ц а 4.3 - значение световой характеристики η_0 окон при боковом помещении

Отношение длины помещения к его ширине L/B	Значение световой характеристики при отношении ширины помещения к его высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна B/h_1			
	1	1,5	2	3
4 и более	6,5	7	7,5	8
3	7,5	8	8,5	9,6
2	8,5	9	9,5	10,5
1,5	9,5	10,5	13	15
1,0	11	15	16	18
0,5	18	23	31	37

Отношение длины к ширине L/B=3,8/2,8=1,4

Отношение B/h_1= 2,8/2,6=1,1,

где $h_1= h_p+ h_0$=0,8+1,8=2,6м

Определяем общий коэффициент светопропускания: По табл. 4.4. τ_1= 0,8; по табл. 4.6. τ_2 =0,7; τ_3 = 1 (при боковом освещении); принимаем τ_4 = 1.

Т а б л и ц а 4.4 - Значения коэффициента светопропускания τ_1

Вид светопропускающего материала	τ_1
Стекло оконное листовое:	
- одинарное	0,9
- двойное	0,8
- тройное	0,75
Стекло листовое армированное	0,6

Т а б л и ц а 4.5- Значения коэффициента τ_2

Вид переплета	τ_2
Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий:	
а) деревянные :	
- одинарные	0,75
- спаренные	0,7
- двойные раздельные	0,6
б) стальные:	
-одинарные открывающиеся	0,75

- двойные открывающиеся	0,6

$\tau_0 = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56$

Таким образом, η_0= 9,5

Средний коэффициент отражения в помещений $\rho_{ср}$=0,4, т.к. одностороннее боковое освещение.

Определим значение r_1 из таблицы 4.5

B/h_1= 2,8:2,6=1,1 1:B=1,8:2,8=0,6 $\left(1 = \frac{B}{1,5}\right)$

Т а б л и ц а 4.6 - Значения коэффициента r_1

B/h_1	L/B	Значения r_1 при боковом освещении		
		Средневзвешенный коэффициент отражения $\rho_{ср}$		
		0,4		
		Отношение длины помещения L к его ширине B		
		0,5	1,0	2 и более
1	2	3	4	5
От 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1
	0,5	1,2	1,15	1,1
	1	1,8	1,6	1,3

Принимаем r_1=1,15;

$К_{зд}$=1, т.к. рядом нет зданий, затемняющих окон;

$К_з$= 1,3.

Тогда

$$e_н = \frac{S_0 \cdot 100 \cdot \tau_0 \cdot r_1}{S_п \cdot \eta_0 \cdot K_{зд} \cdot K_з} \quad (4.4)$$

$S_п = 3,8 \cdot 2,8 = 10,64$ м^2

$$e_н = \frac{5 \cdot 100 \cdot 1,15 \cdot 0,56}{10,64 \cdot 9,5 \cdot 1,3} = 2,4\%$$

Проверочный расчет показал, что площадь и размеры световых проемов, полученные предварительным расчетом, обеспечивают нормированное значение КЕО $e_н$, т.е. удовлетворяется условие 2,4%≥1,35%.

Нормированное значение КЕО для светового пояса удовлетворяет санитарным нормам.

4.3 Анализ искусственного освещения по методу коэффициента светового потока

В помещении 4 люминесцентных светильников типа ЛПО 71-х-703**.** В каждом светильнике по1 лампе. Световой поток одной лампы составляет 780ЛМ. Площадь составляет 10,64м^2.

Определяем освещенность помещения методом коэффициента светового потока:

$$E = \frac{F \cdot \eta \cdot N \cdot n}{k \cdot S \cdot z} \tag{4.5}$$

где E – освещенность, лк;
F – световой поток одной лампы, лм;
η – коэффициент использования осветительной установки;
N – число светильников общего освещения;
n – число ламп в светильнике;
k – коэффициент запаса;
S – площадь помещения, м^2;
z- поправочный коэффициент.

Световой поток одной лампы 780 лм, коэффициент запаса – 1,4, коэффициент использования осветительной установки – 50 %, поправочный коэффициент – 0,4.

$$E = \frac{780 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 4}{1,4 \cdot 10,64 \cdot 0,4} = 524 лк$$

4.3.1 Расчет искусственного освещения точечным методом

Для проверки расчета освещения используем точечный метод.
Расстояние от рабочей поверхности до светильника h=2,15 м.
Расстояние между светильниками в длину Z1=0,8м
Расстояние между светильниками в ширину Z2=1м.
Расстояния между светильниками в ширину, и в длину- по 0,8м
Количество светильников - 4
В каждом светильнике по 2 лампы.

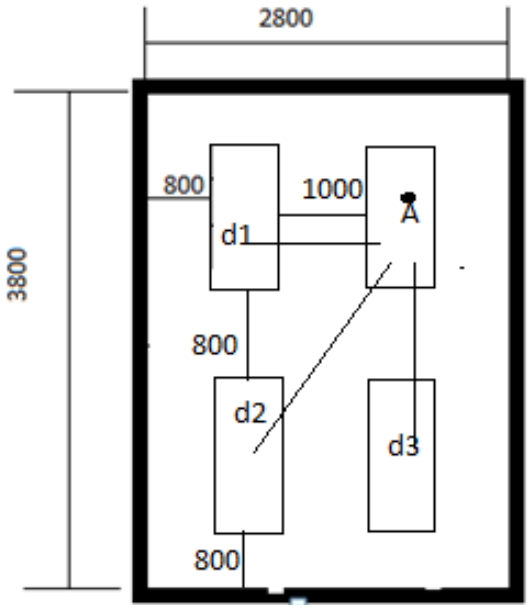


Рисунок 4.2 - План расположения светильников

Для дальнейших расчетов находим d1, d2, d3.

d1= 1м
d2=$\sqrt{Z1^2 + Z2^2} = \sqrt{1 + 0{,}64} = 1{,}28$м
d3=0,8м.

Угол между высотой потолка и соответствующим отрезком d определяется по формуле:

$$tg\ \alpha = [\ d / hp\ ] \qquad (4.6)$$

Находим углы для каждого отрезка и рассчитываем $\cos^3$ для дальнейших расчетов:

tg α1 = (1/2) = 0,5 α1 = 26,6°;
$\cos^3 \alpha 1 = (0{,}89)^3 = 0{,}7$;

tg α2 = (1,28/2) = 0,64 α2 = 32,6°;
$\cos^3$ α2 = $(0,84)^3$ = 0,59;

tg α3 = (0,8/2) = 0,4 α3 = 21,8°;
$\cos^3$ α3 = $(0,93)^3$ = 0,8;

Для светильника, который находится над точкой А:
tg $\alpha_A = 0 \rightarrow \alpha_A = 0$
$\cos^3 \alpha_A = (1)^3 = 1$;

Т а б л и ц а 4.7 – Светораспределение светильника

Тип светильника	Сила света Iα, кд в направлении угла α				
	0	10	20	30	40
Люмсвет ЛПО 71-2х18-551	300	330	337	285	135

Теперь по таблице найдем силу Iα света

I_1=335 кд, I_2 = 308 кд, I_3=336 кд, I_4 =300 кд.

Освещенность помещения относительно контрольной точки от каждого источника:

$$E = \frac{I \cos^3 \alpha}{h_p^2} \tag{4.7}$$

Следовательно:

$$E1 = \frac{335 \cdot 0,7}{4,62} = 50,8 лк;$$

$$E2 = \frac{308 \cdot 0,59}{4,62} = 39,3 лк$$

$$E3 = \frac{336 \cdot 0,8}{4,62} = 58,2 лк;$$

$$E4 = \frac{300 \cdot 1}{4,62} = 64,9 лк;$$

Суммарная освещенность:

$$E = \frac{\mu \cdot F}{1000 \cdot K_з} \cdot \sum_{i=1}^{8} E_i, \tag{4.7}$$

где μ – коэффициент, учитывающий действие «удаленных» светильников (1,1 ÷ 1,2).

При определении освещенности рабочей поверхности всеми светильниками учитываем, что в каждом светильнике находится по 2 лампы.

$$\sum_{i=1}^{4} E_i = 2 \cdot (50{,}8 + 39{,}3 + 58{,}2 + 64{,}9) = 426{,}4 \text{ лк};$$

$$E = \frac{1{,}1 \cdot 2 \cdot 780}{1000 \cdot 1{,}4} \cdot 446{,}8 = 522 \text{лк}.$$

Т а б л и ц а 4.8 - Нормы наименьшей освещенности в помещении с характеристикой зрительной работы средней точности

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк	
			при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения
Высокой точности	0.5-1.0	I I	950	400

Согласно таблице освещенность соответствует нормам.

5 Бизнес – план

5.1 Цель бизнес-плана

Целью данного дипломного проекта является анализ проектирования спутниковой системы связи с зоновым обслуживанием. Для организации систем ШПД перспективен Ка-диапазон, так как предлагает дополнительные частотные полосы в уже занятых спутниковых позициях. Применение этой технологии позволит быстро и сравнительно недорого обеспечить широкополосную связь. Ка-диапазон устраняет проблему нехватки спутникового сегмента, которая сдерживала развитие спутниковой связи в последние несколько лет в Ku-диапазоне. Появление спутников Ка-диапазона в сочетании с многолучевой технологией обеспечило этой отрасли дополнительный частотный ресурс, использование которого обходится значительно дешевле, чем использование аналогичной емкости Ku- или С-диапазонов в традиционном использовании.

Мой спутник Ямал-201 размещен на геостационарной орбите. Основными достоинствами которой являются возможность непрерывной круглосуточной связи в глобальной зоне обслуживания и практически полное отсутствие сдвига частоты .

Надо показать срок окупаемости затрат на оборудование данной технологии, обеспечивающее высочайшее качество услуг спутниковой системы связи, при приемлемых ценах на услуги для предприятий и населения. А также получение прибыли от производства. Приведен расчет технико-экономических показателей.

Реализация бизнес-плана обеспечит решение следующих задач:

- одновременное использование сети Интернет как для передачи данных, так и голоса;
- отсутствие необходимости прокладки телефонных линий связи;
- хорошее качество голоса даже при невысокой скорости соединения;
- экономия средств на международные переговоры по сравнению с обычными телефонными сетями.
- высоко-качественное спутниковое телевидение.

Инвестиционные затраты составляют 57 596 525 тенге. Проект окупиться за 2,5 года. С учетом дисконтирования за 3 года и 6 месяцев.

5.2 Финансовый план

5.2.1 Расчет капитальных вложений

Затраты по капитальным вложениям на реализацию проекта включают в себя затраты на приобретение основного оборудования, монтаж оборудования, транспортные расходы и проектирование, и рассчитывается по формуле:

$$K_{\Sigma} = K_0 + K_M + K_{\text{тр}} + K_{\text{пр}} \quad (5.1)$$

где $К_О$ – капитальные вложения на приобретение основного оборудования;

$К_{М.}$ – расходы по монтажу оборудования;

$К_{ТР}$ – транспортные расходы;

$К_{ПР}$ – затраты на проектирование

Общий перечень необходимого основного оборудования и его стоимость приведены в таблице 5.1

Наименование	Количество, шт	Цена за ед,тг	Сумма,тг(без НДС)
Приемо-передающее оборудование	1	51 000 000	54 000 000
Опора под оборудование	1	1 000 000	1 000 000
Кабель коаксиальный 1 метр	50 метров	2500	125 000
«F» разъем	100	200	20 000
Итого:			55 145 000

Транспортные расходы, составляют 3% от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле:

$$K_{mp} = 0{,}03 \cdot K_0 = 0{,}03 \cdot 55\ 145\ 000 = 1\ 624\ 350 \text{ тенге}$$

Монтаж оборудования, пуско-наладка производится инженерами-монтажниками, расходы составляют 1% от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле:

$$K_m = 0{,}01 \cdot K_0 = 0{,}01 \cdot 55\ 145\ 000 = 551\ 450 \text{ тенге}$$

Расходы по проектированию и разработке проекта составляют 0,5% от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле:

$$K_{пр} = 0{,}005 \cdot K_0 = 0{,}005 \cdot 55\,145\,000 = 275\,725 \text{ тенге}$$

Общая сумма капитальных вложений по реализации проекта составляет:

$K_{\Sigma=}$55 145 000 + 1 624 350 +551 450+275 725=*57 596 525* тенге

5.2.2 Эксплуатационные расходы

Текущие затраты на эксплуатацию данной системы связи определяются по формуле:

$$Э_р = ФОТ + О_с + A_0 + Э + Н \qquad (5.2)$$

где ФОТ – фонд оплаты труда;

$О_С$ – отчисления на соц. нужды;

$А_о$ – амортизационные отчисления;

Э – электроэнергия для производственных нужд;

Н – накладные затраты;

Фонд оплаты труда

В штате данного проекта состоят 4 инженера-техника. Месячная зарплата у инженера-техника составляет 150 000 тенге. Заработная плата сотрудников приведена в таблице 5.2

Т а б л и ц а 5.2 – Заработная плата сотрудников

Должность	Количество	Месячная работная плата, нге	Годовая работная плата, нге
Инженер-техник	3	200 000	7 200 000

Затраты по оплате труда состоят из основной и дополнительной заработных плат и рассчитываются по формуле:

$$ФОТ = З_{осн} + З_{доп} \qquad (5.3)$$

где Зосн - основная заработная плата,

Здоп - дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата в год составляет:

Зосн =7 200 000 тенге

Дополнительная заработная плата составляет 10% от основной заработной платы и рассчитывается по формуле:

$$З_{доп} = 0{,}1 \cdot З_{осн} \quad (5.4)$$

$$З_{доп} = 0{,}1 \cdot 7\,200\,000 = 720\,000 \text{ тенге}$$

Общий фонд оплаты труда за год составит:

ФОТ=7 200 000 + 720 000 =7 920 000 тенге

Расчет затрат по социальному налогу

В соответствии со статьей 385 Налогового кодекса РК социальный налог составляет 11% от начисленных доходов и рассчитывается по формуле:

$$O_c = 0{,}11 \cdot (ФОТ - ПО) \quad (5.5)$$

где ПО – отчисления в пенсионный фонд.

ФОТ – фонд оплаты труда

0,11 – ставка на социальные нужды

Отчисления в пенсионный фонд составляют 10% от ФОТ, социальным налогом не облагаются и рассчитываются по формуле:

$$ПО = 0{,}1 \cdot ФОТ \quad (5.6)$$

$$ПО = 0{,}1 \cdot 7\,920\,000 = 792\,000 \text{ тенге}$$

Тогда социальный налог будет равен:

$$О_с = 0{,}11 \cdot (7\,920\,000 - 792\,000) = 784\,080 \text{ тенге}$$

Расчет затрат на амортизацию:

Амортизационные отчисления берутся исходя из того, что норма амортизации на оборудование связи составляет 25% и вычисляются по следующей формуле:

$$А_0 = Н_А \cdot \Sigma К \ , \quad (5.7)$$

где $Н_А$- норма амортизации;

$\sum К$ – стоимость оборудования;

Тогда амортизационные отчисления составляют:

$$А_0 = Н_А \cdot \Sigma К = 0{,}25 \cdot 57\,596\,525 = 14\,399\,131.25 \text{ тенге}$$

Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитываем по формуле:

$$С_{ЭЛ.} = W \cdot T \cdot S \quad (5.8)$$

где $С_{ЭЛ}$ - стоимость электроэнергии;
W - потребляемая мощность, W=500Вт;
T - время работы T=8760ч/год;
S - стоимость киловатт-часа электроэнергии S = 14,02 тенге / квт-час

$С_{ЭЛ} = 0,5 \cdot 8760 \cdot 14,02 = 61\ 408$ тенге.

Затраты на дополнительные нужды составляют 5% от затрат на электроэнергию оборудования и рассчитываются по формуле:

$$З_{доп.нуж.} = 0,05 \cdot З_{эл.обор.} \quad (5.9)$$

где $З_{ЭЛ.ОБОР}$ - затраты на электроэнергию для оборудования;
Затраты на электроэнергию для дополнительных нужд:

$$З_{доп.нуж.} = 0,05 \cdot 61408 = 3070,4 \text{ тенге}$$

Тогда суммарные затраты на электроэнергию будут равны:

$$Э = 61408 + 3070,4 = 64478,4 \text{ тенге}$$

Расчет накладных затрат

Накладные расходы составляют 45 % от всех затрат и рассчитываются по формуле:

$$Н = 0,45 \cdot (ФОТ + О_с + А_0 + З_{эл.обор}) \quad , \quad (5.10)$$

где ФОТ - фонд оплаты труда;
Тогда накладные затраты составят:

$$Н = 0,45 \cdot (7\ 920\ 000 + 784\ 080 + 14\ 399\ 131.25 + 64478.4) = 10\ 425\ 460.34 \text{ тенге}$$

Результаты расчета годовых эксплуатационных расходов проекта по организации систем видеонаблюдения представлены в таблице 5.3

Т а б л и ц а 5.3 - Годовые эксплуатационные расходы

Наименование показателей	Сумма, тенге
ФОТ	7 920 000
Отчисления на социальные нужды (Ос)	784 080
Амортизационные отчисления ($А_0$)	14 399 131,25
Затраты на электроэнергию (Э)	64 478,4
Накладные расходы (Н)	10 425 460,34
Итого:	33 593 150

Таким образом доля фонда оплаты труда составляет 23,5%, социальный налог 2,3%, амортизационные отчисления 43%, затраты на электроэнергию 0,2%, накладные расходы 31% от общей суммы эксплуатационных затрат.

5.2.3 Расчет экономического эффекта и показателей экономической эффективности

Оценки эффективности от реализации проекта производится на основе следующих показателей:

1. Чистый доход;
2. Чистый приведенный доход;

Для расчета срока окупаемости необходимо определить чистый доход и доход предприятия после налогообложения.

Прибыль от реализации услуг определяется по формуле:

$$ЧП = П - КПН \quad (5.11)$$

где П - прибыль от реализации услуг, КПН – корпоративный подоходный налог с юридических лиц. Сумма налога в бюджет составляет 20% от чистого дохода предприятия. Чистый доход предприятия после налогообложения рассчитывается по формуле:

$$КПН = 0,2 \cdot П \quad (5.12)$$

Прибыль от реализации услуг рассчитывается по формуле:

$$П = Д - \sum Э \quad (5.13)$$

Где Д - реальный доход от внедрения услуг в год, ∑Э – эксплуатационные расходы

Количество абонентов – 15000.

Ежемесячная абонентская плата:

- Услуги телевещания – 1800 тенге;
- Услуги интернет – ежемесячная плата 2500 тенге;
- Телефония – 1200 тенге;

- Пакет (Выгодно втройне) Net+TV+phone - 5000тенге;

3500 абонента - телевещания - плата за подключение – бесплатно.

6500 абонента – услуги интернет – плата за подключение к порту – 4500 тенге.

1200 абонента- услуги телефонии- бесплатно

10000 абонента- услуги пакет (Выгодно втройне)- плата за подключение- 3400тенге.

Дт=(3500+1800) · 12+(6500+2500) · 12+(10 000+5000) · 12+(1200+1200) · 12 + 6500 · 4500+10 000 · 3400= 63 600+ 108 000+180 000+ 28 800+29 250 000+ 34 000 000= 63 630 400тенге.

Прибыль от реализации услуг в соответствии с формулой (3.15) составила

П=63 630 400 -33 593 150=30 037 250 тенге

КПН в соответствии с формулой (4.14) составил

КПН=0,2 · 30 037 250 = 6 007 450 тенге

Тогда чистая прибыль после налогообложения в соответствии с формулой составит:

ЧП= 30 037 250- 6 007 450= 24 029 800 тенге (5.14)

Экономическая эффективность проекта составит:

Е = ЧП/К (5.15)

Е = 24 029 800 / 57 596 525 = 0,4

Срок окупаемости определим как отношение капитальных затрат к чистой прибыли предприятия:

Т = 1/Е (5.16)

Т = 1 / 0,4 = 2,5 года.

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{(1+r)^t} \quad (5.17)$$

где α_t – коэффициент дисконтирования,

r – норма дисконта (0.20),

t – номер шага;

Пусть делается прогноз, что инвестиция будет генерировать в течение t=1,2,…n лет, годовые доходы в размере P1,P2,P3,…Pt.

Определяется величина дисконтированных доходов (PV) по формуле:

$$PV = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{Pt}{(1+r)^t} \qquad (5.18)$$

где r – ставка дисконты (20%)

t – год:

По полученным выше расчетам известно, что чистый доход на первый расчетный год составит 24 029 800 тенге.

Произведем вычисления для получения дохода на нужный расчетный год с учетом ставки дисконты 20 % пользуясь данными занесенными в таблицу 5.4.

Т а б л и ц а 5.4. - Вычисления для получения дохода с учетом дисконты

Число лет,следующих за расчетным годом, (t_p-t)	Дисконта: $\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^{(t_p - t)}}$	Чистый дисконтированный доход, PV_t, тенге.
1	0,83	19 944 734
2	0,69	16 580 562
3	0,58	13 937 284
4	0,48	11 534 304
5	0,4	9 611 920

Для определения экономической эффективности проекта рассчитываем чистую текущую стоимость проекта.

Чистая текущая стоимость проекта определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{Pt}{(1+r)^t} - I \,, \qquad (5.19)$$

где I – сумма первоначальных инвестиций;

r – норма дисконта;

n – срок проекта (лет);

Pt – денежный поток в году t.

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Pt}{(1+r)^n} = 71608804 \text{ тенге.}$$

NPV = 71 608 804– 57 596 525 = 14 012 279 тенге.

NPV>0, проект прибыльный и его следует принять.

Индекс рентабельности представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине инвестиционных затрат. Индекс рентабельности (PI) рассчитывается по формуле:

$$PI = \frac{\sum_{t} \frac{P_t}{(1+r)^t}}{IC} \qquad (5.20)$$

PI = 71 608 804 / 57 596 525= 1,2

Из этого показателя так же видно, что проект следует принять, т.к. рентабельность больше единицы.

Срок окупаемости инвестиций, для полного возмещения первоначальных затрат определяется момент, когда денежный поток доходов сравняется с суммой денежных потоков затрат. Общая формула(5.17) расчета показателя DPP имеет вид:

DPP = t, при котором Pt > 1, (5.21)

где Pt – чистый денежный поток доходов.

Все расчеты производились с использованием персонального компьютера в программе MS Excel и приведены в таблице 5.5. Ставка прибыли (норма дисконты r) равна 20 % в год.

Т а б л и ц а 5 . 5 – Оценка экономической эффективности

Показатели	Проектный период				
	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Чистый денежный поток, тг	30 037 250				
Кап. влож.	57 596 525				
Норма дисконта	0.20				
Коэфф. дискон-я, α	0,83	0,69	0,58	0,48	0,40
Чистая текущая стоимость, (PV), тг	19 944 734	16 580 562	13 937 284	11 534 304	9 611 920
NPV, тг	14 012 279				
Индекс доходности (PI)	1,2				
Чистая текущая стоимость с нарастающим итогом, тг	-37 651 791	-21 071 229	-7 133 945	4 400 359	14 012 279

Таким образом при проектировании спутниковой системы связи с зоновым обслуживанием, при капитальных затратах в 57 596 525 тенге, чистый годовой доход составит 30 037 250 тенге. При экономической эффективности 0.4 данный проект окупается за 2,5 года. Отсюда можно сделать вывод, что данный дипломный проект экономически эффективен.

После проведенных расчетов представим графически точку окупаемости инвестиционного проекта (рисунок 5.5.).

Дисконтированный период окупаемости ДТок:

За три года ЧД(Д) = 19 944 734 + 16 580 562 + 13 937 284 = 50 462 580 тенге.

57 596 525 – 50 462 580 = 7 133 945 тенге осталось окупить.

ДТок = 3 + 7 133 945/11 534 304 = 3,6 года

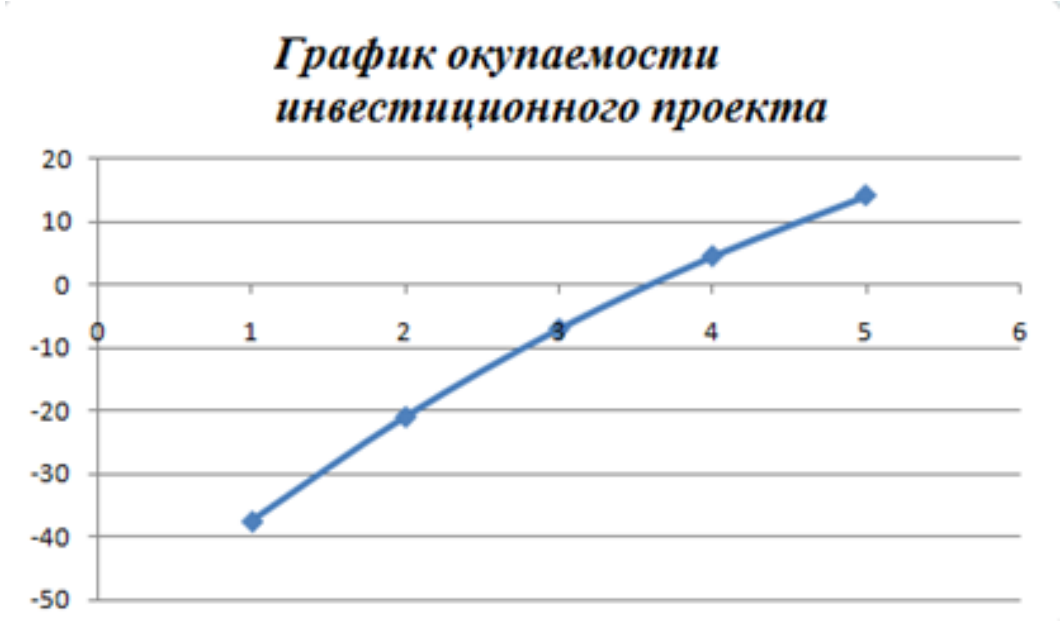


Рисунок 5.1. – График окупаемости инвестиционного проекта с учетом дисконтирования

Построим итоговую таблицу 5.6

Таблица 5.6.- Основные показатели экономической эффективности проектирования сети

Показатели	Значения
Капитальные затраты, тенге	57 596 525
Эксплуатационные расходы, тенге	33 593 150
Прибыль после налогообложения, тенге	6 007 450
Абсолют-я эконом-я эффективность	0,4
Срок окупаемости без дисконтирования, год	2,5
Норма дисконта	20%
NPV, тенге	14 012 279
Индекс доходности (PI)	1,2
Срок окупаемости с дисконтированием, год	3,6

5.3 Вывод по разделу экономика

Анализ полученных результатов показывает, что капитальные затраты составляют – 57 596 525 тенге, эксплуатационные расходы – 33 593 150 тенге, а срок окупаемости проекта составляет – 2,5 года. Срок окупаемости с дисконтированием – 3,6 года.

Сравнение расчетного срока окупаемости с нормативным свидетельствуют о целесообразности внедрения данного проекта для газовых месторождений и насосных станций трубопровода расположенных в поселочных городках.

Заключение

Последние несколько лет наблюдается активное коммерческое освоение Ка диапазона применительно к системам спутниковой связи и вещания. Обусловлено это проблемой международной координации новых геостационарных спутников в Ku диапазоне и стремлением реализовать предельно большую пропускную способность спутника для минимизации себестоимости передачи единицы информации.

В дипломном проекте проведен анализ параметров ДН и геометрии зеркала, спутниковой линии связи для двух диапазонов частот, а также спутниковой линии связи для мобильных абонентов и возможности применения многолучевой зоны покрытия территории Казахстана при использовании Ка диапазона в спутниковых системах связи.

Выполненные расчеты подтверждают преимущества использования Ка диапазона, не смотря на увеличение затухания сигнала при распространении. Увеличение затухание компенсируется увеличением коэффициента усиления антенны и применением узких лучей диаграммы направленности антенны, которые позволяют улучшить энергетические характеристики спутниковой линии связи. Преимущество многолучевых систем в повторном использовании частот, что повышает эффективность использования частотного ресурса. В предлагаемом для Казахстана проекте по расчетам для обслуживания всей территории рекомендуется 9 лучей.

В разделе безопасности и жизнедеятельности были проведены: анализ условий труда, расчет системы естественного и искусственного освещения методами коэффициента светового потока и точечным.

В экономической части работы был произведен анализ рынка связи и представлен бизнес-план проектируемой системы с указанием срока окупаемости проекта. Для реализации дипломного проекта потребуются капитальные вложения в размере 57 596 525 тенге. Но при эксплуатации технологии вложения окупятся в течение 2,5 лет.

Список использованной литературы

1 Леонид Невдяев. Спутниковые системы. Орбиты и параметры. Часть 1-2, 1999. http://www.osp.ru/nets/1999/01-02/143941/

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

3 Журнал "Технологии и средства связи" №1, 2012. Перспективы развития спутниковой связи на основе геостационарных спутников. http://www.tssonline.ru/articles2/sputnik/perspektivi-razvitiya-spytnikovoi-svyazi-na-osnove-geostacionarnih-spytnikov

4 Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание"-2013. Достоинства и перспективы Ка-диапазона. http://tssonline.ru/articles2/sputnik/dostoinstva-i-perspektivy-ka diapazona#sthash.oebxRAkJ.dpuf

5 Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание"-2010. Спутниковые системы связи и вещания Ка-диапазона http://www.tssonline.ru/articles2/reviews/spytnikovie-sistemi-svyazi-i-veshaniya-kadiapazona#sthash.cH0gXqSV.dpuf

6 Всат либо кА-диапазон

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

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

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

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

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

12 Коллар Ш."ИНТЕРСПУТНИК": приоритетные задачи // Технологии и средства связи - 2012, №2,

13 Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток. – М.: Радио и связь, 1981.

14 Гениатулин К.А., Носов В.И. Планирование систем спутниковой связи с зональным обслуживанием // Вестник СибГУТИ : научный журнал. – Новосибирск, 2009, № 4. С. 11-22.

15 Гениатулин К.А., Носов В.И..Частотно-территориальное планирование системы подвижной спутниковой связи с зональным обслуживанием //Вестник СибГУТИ: научный журнал. – Новосибирск, 2011. № 1.

16 Андрусевич Л.К. Антенны и распространение радиоволн.-Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.

17 Cellular Communications Using Aerial Platforms.//IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 50, NO. 3, MAY 2001.
18 US Patent 6556809. Method and apparatus for controlling communication beams within a cellular communication system. Приоритет от 22.11.1999 года.
19 Слюсарь В.И. Фазированная антенная решетка системы Thuraya. – Сети и телекоммуникации, 2002, № 5,с. 54–58.
20 Слюсар В.И. Thuraya-1 сквозь призму технических новшеств. – Телемультимедиа, 2001, № 5(9), с. 13–18.
21 С.Елеферов / Дубна-2006 Расчет линий спутниковой связи - Основные понятия и формулы. С 44.
22 Bosshard P., Gaudй G., Lasserre A., Lepeltier P., Pressensй J., Verl-hac S., Mangenot C., Lopez J.-M. Recent developments for ka-band multibeam passive antennas, 32 nd ESA Antenna Workshop on Antennas for Satellite Applications, 5–8 Oct., 2010, Proceedings Conf.
23 Методические указания к выполнению раздела ‘Охрана труда и окружающей среды в дипломном проекте’.- Алматы:АИЭС, 2003.-27с
24 Безопасность жизнедеятельности пособие по выполнению практической работы «Защитное заземление».- Москва:2010-19 с
25 Безопасность жизнедеятельности. Производственная санитария и гигиена труда. –Москва:2013.-62с
26 Учебно-методическое пособие к выполнению практической работы «Расчѐт естественного и искусственного освещения производственных помещений» .- Уфа: 2010-32с.
27 Безопасность жизнедеятельности . Учебное пособие. В.С.Гриценко.:- Москва: 2004- 244с
28 Delmas D., Maquet F. Comparison of multi-beam payloads designs, ICSSC 2012.
29 Grenier C., Fontaine M., Langevin J.-P., Sierra-Garcia S., Michel N., Bussiires F., Maltais S. Express AM5 and AM6 Satellite Antennas – Design and, 29th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2011) 28 November – 01 December, 2011.

Приложение А

Энергетический расчет спутниковой линии связи «вниз»

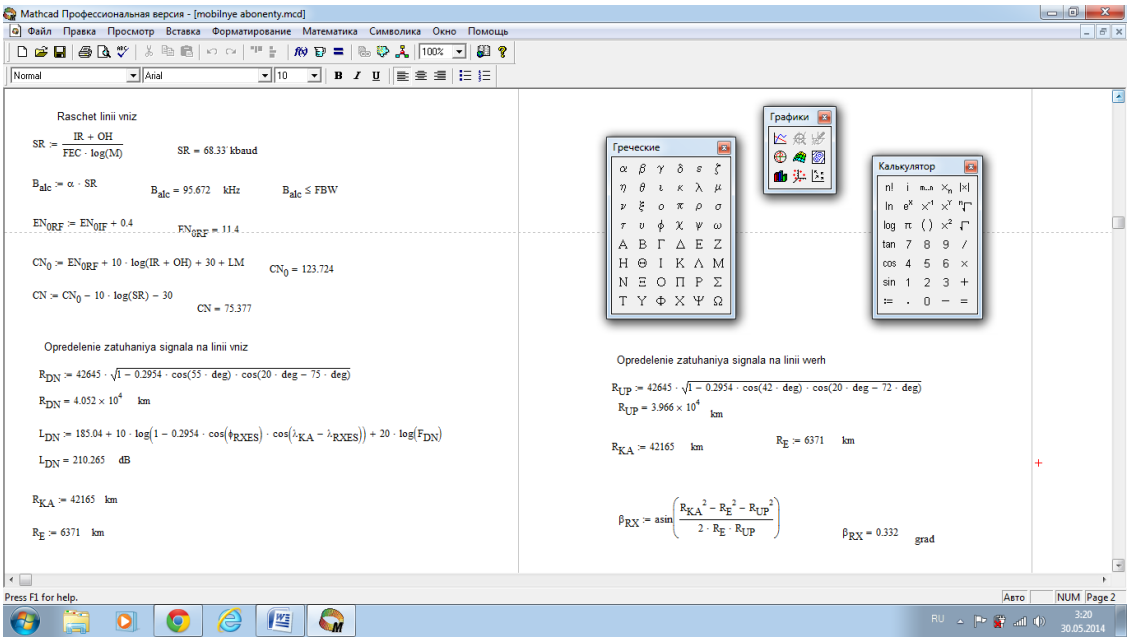


Рисунок А.1 - Рабочее окно программы Mathcad

Приложение Б

Энергетический расчет спутниковой линии связи «вверх» для мобильных абонентов

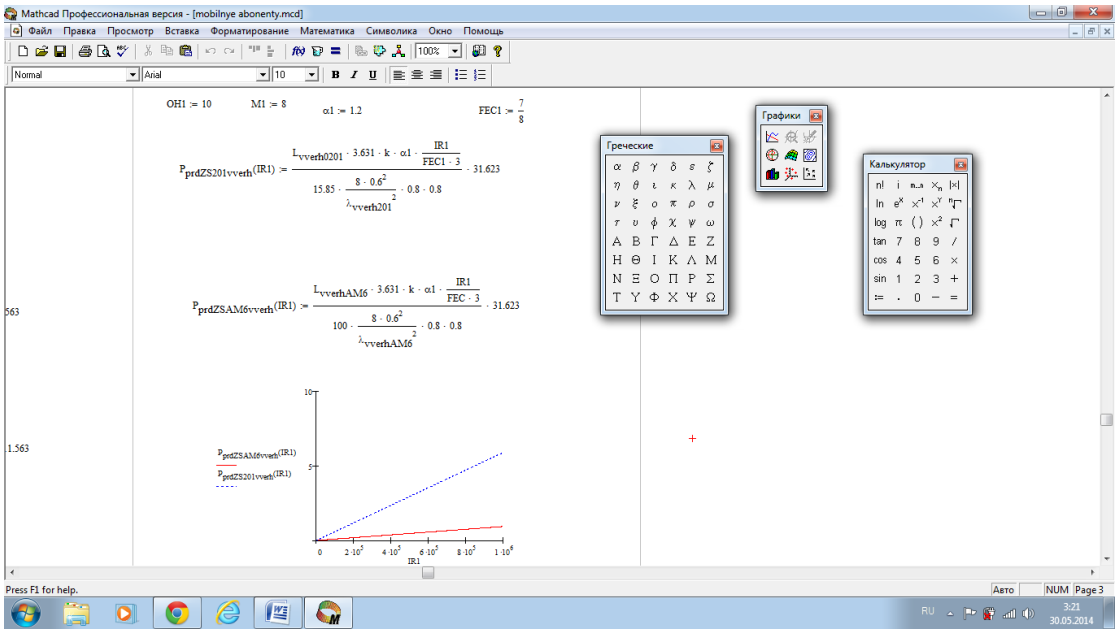


Рисунок Б.1 - Рабочее окно программы Mathcad