МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____
_____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «_____» _____ **20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Исследование спутниковых систем связи, использующих антенные системы с цифровым диаграммообразованием

Специальность радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Киле К.А. МТС-10-06
(Фамилия и инициалы) группа

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

Консультанты:

по экономической части:
Бекишева А.И., к.э.н., доцент
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «03» июня 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Джолбаев М.К., д.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «09» июня 2014 г.
(подпись)

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

_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____» _____ 20__ г.
(подпись)

Нормоконтролер: ст. преподав. ТКС Кондратович А.Х.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____
«09» 06 2014 г.
(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 радиотехники и связи
Специальность радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Киле Кристина Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Исследование спутниковых систем связи, использующих антенные системы с цифровым диаграммообразованием

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

Частотные диапазоны: L (1,4-1,7) ГГц; Ku (10,7-14,8) ГГц; Ka (27-50) ГГц.
Космический сегмент: геостационарный спутник связи.
Антенны с цифровым диаграммообразованием.

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

Обзор современного состояния проблемы;
Анализ антенн, используемых в спутниковой связи;
Фазированные антенные решетки, как пример систем с цифровым диаграммообразованием;
Варианты построения систем цифрового диаграммообразования;
Расчет диаграмм-направленности антенны;
Энергетический расчет спутниковой линии связи.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Зона покрытия луча спутниками ГСО;
Диаграмма направленности двухлучевой зеркальной антенны;
Схема фазированной антенной решетки;
Космический аппарат Тыгаа;
Приемной, передающей системы цифровой антенной решетки;
Схема ЦДО с последовательным суммированием;
Схема ЦДО с применением подрешеток;
Двумерный массив излучателей из MxN элементов;
Многолучевая приемная антенна;
Диаграмма направленности АР;
Зависимость мощности сигнала от коэффициента усиления антенны приемной станции

Рекомендуемая основная литература

Малишевский Е.В. Анализ возможности освоения Ка диапазона для развертывания в Казахстане спутниковых систем связи. - Алматы, 2008.
Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки в мобильной спутниковой связи // Первая миля, 2008, №4.
Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграмм направленности в фазированной антенной решетке - М.: Радиотехника. - 2010.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
ВТ	Артюхин И.В.	12.05-27.05.14	
Спец. часть	Ролзик Е.В.	26.05.14	
Экономч. часть	Бекишев А.И.	17.03-03.06	
БЖД	Досбаев М.К.	17.03-09.06	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Обзор современного состояния спутниковых систем связи.	28.02.14г	
2	Антенные системы	13.03.14г	
3	Варианты построения системы цифрового диаграммообразования.	28.03.14г	
4.	Расчет диаграммы направленности антенны.	14.04.14г	
5.	Энергетический расчет спутниковой линии связи.	28.04.14г	
6.	Описание системы	19.05.14г.	
7.	Заключение	24.05.14г.	

Дата выдачи задания «____»_____20___ г.

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

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

Задание принял к исполнению
студент _____ Келе К.А.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Бұл дипломдық жобада спутникті жүйелер байланыстары қараластырылған, цифрлық диаграммообразование мұртшалары қолданылады. Цифрлық диаграммообразования әдісітері қарастырылған.

Дипломдық жобада диаграмма-бағытталғандығың мұртшаның салыстырмалы анализы элементтің және толқынның бөлек-бөлек ұзындығының түрлі саны орындалған. Байланыстың спутникті сызығының энергетикалық есебі, нешетүрлі жиіліктің диапазондары үшін өткізілген. Бас негіз есептердің қажетті жабдық сұра - техникалық мінездемелермен жүйенің жобала- үшін ұсынылады.

Одан басқа, тіршілік әрекетерінің қауіпсіздігінің шаралары суреттелген, бизнес-жоспар әзірленген.

Аннотация

В данном дипломном проекте исследованы антенны с цифровым диаграммообразованием и использующие их спутниковые системы связи. Проведен обзор методов цифрового диаграммообразования.

В дипломном проекте выполнен сравнительный анализ диаграмм-направленности антенн для различного количества элементов и разных длин волн. Энергетический расчет спутниковой линии связи, проведен для нескольких частотных диапазонов. На основе расчетов предлагается необходимое оборудование с требуемыми техническими характеристиками для проектирования системы.

Кроме того, описаны меры безопасности жизнедеятельности, разработан бизнес-план.

Abstract

This graduation project deals with beam-forming digital antenna and the communications systems based on. The methods of beam-forming are described.

The comparative analysis of antenna's directive diagram are made for different quantity of elements and various wave-length. The level of energy are calculated for several frequency coverage. On a basis of calculations the necessary technical equipment is suggested for designing the system.

Furthermore, the issues of protective measures, safety and economical research are highlighted in the project.

Содержание

Введение 7
1 Обзор современного состояния проблемы 8
1.1 Спутниковые системы связи 8
1.2 Проблемы и перспективы развития спутниковых систем связи 12
1.3 Перспективы применения Ка диапазона для Республики Казахстан 13
2 Антенные системы 15
2.1 Антенны, используемые в системах спутниковой связи 15
2.2 Фазированные антенные решетки как пример систем с цифровым диаграммообразованием 21
2.3 Варианты построения систем цифрового диаграммообразования 27
3 Расчет 28
3.1 Расчет диаграммы-направленности антенны 28
3.2 Энергетический расчет спутниковой линии связи 37
3.3 Энергетический расчет линий «вниз» и «вверх» для спутниковой системы связи 42
4 Описание проектируемой системы 49
5 Безопасность жизнедеятельности 54
5.1 Анализ условий труда 54
5.2 Расчет заземления оборудования станции iDirect 5IF 57
5.3 Освещение 59
5.4 Система автоматического пожаротушения 62
5.5 Вывод 63
6 Бизнес план 63
6.1 Резюме 63
6.2 Особенность проекта 64
6.3 Маркетинг 64
6.4 Объем капитальных вложений 67
6.5 Доходы компании 71
6.6 Вывод 75
Заключение 76
Список литературы 77
Приложение А Диаграммы направленности антенны для различного количества элементов и расстояния между ними 79

Введение

Технологии спутниковой связи находятся в непрерывном развитии и совершенствовании. В настоящее время они стали вполне доступными и для конечного пользователя. Превратились из дорогих эксклюзивных решений в средство абонентского доступа. Но это превращение основано на ряде технологических прорывов, один из которых – применение цифровых антенных решеток, цифровое формирование диаграммы направленности антенн.

Орбиты спутниковых ретрансляторов: экваториальные, наклонные, полярные. Важной разновидностью экваториальной орбиты является геостационарная орбита, на которой спутник вращается с угловой скоростью, равной угловой скорости Земли, в направлении, совпадающем с направлением вращения Земли. Основным преимуществом геостационарной орбиты является то, что приемник в зоне обслуживания «видит» спутник постоянно. Однако геостационарная орбита одна, и все спутники вывести на неё невозможно. Другим её недостатком является большая высота, а значит, и большая цена вывода спутника на орбиту. Кроме того, спутник на геостационарной орбите неспособен обслуживать земные станции в приполярной области.

Для обеспечения возможности одновременного использования спутникового ретранслятора несколькими пользователями применяют системы множественного доступа:

- множественный доступ с частотным разделением;
- множественный доступ с временным разделением;
- множественный доступ с кодовым разделением.

Несмотря на сравнительно небольшой срок своего существования системы спутниковой связи уверенно заняли лидирующее положение в мире среди средств дальней связи.

Технологии цифровой обработки сигналов играют определяющую роль в современных системах связи. Цифровое диаграммообразование (ЦДО), или формирование диаграммы направленности системы цифровыми методами, – одна из наиболее значимых среди них. Данная технология уже стала базовой в перспективных радиолокационных системах и ультразвуковом диагностическом оборудовании. Но в области мобильной связи ее внедрение несколько задержалось. Однако в последние годы, вследствие развития вычислительной техники, проектирование связных систем с цифровым формированием луча широко используется в системах спутниковой связи.

В данном дипломном проекте рассматриваются достоинства систем с цифровым диаграммообразованием, а так же исследуется влияние частоты, количества элементарных излучателей антенной решетки, межэлементного расстояния на формируемую диаграмму направленности. Энергетический расчет спутниковой линии связи позволит подобрать оборудование для построения системы связи.

1 Обзор современного состояния проблемы

1.1 Спутниковые системы связи

Принцип организации спутниковой системы связи и вещания достаточно прост: с помощью ракеты-носителя на заданную орбиту вокруг Земли запускается искусственный спутник Земли (ИСЗ), на борту которого размещается приемо-передающее устройство (радиоретранслятор), на Земле устанавливаются земные станции с антеннами и с устройствами для постоянного наведения на антенну ИСЗ. Сигналы на фиксированных частотах, посылаемые с земной станции, принимаются и усиливаются радиоретранслятором ИСЗ и после преобразования на другие частоты излучаются антенной ИСЗ в сторону земных станций-корреспондентов, где они принимаются, усиливаются и преобразуются до выделения сообщения.

В зависимости от типа земных станций и назначения системы, согласно Регламенту Радиосвязи выделяют следующие службы связи:

- фиксированная спутниковая служба (ФСС) - это служба радиосвязи между земными станциями с заданным местоположением, когда используется один или несколько спутников. Эти ЗС станции, расположенные в фиксированных точках на поверхности Земли, называются земными станциями ФСС. К фиксированной спутниковой службе относят также фидерные линии (линии подачи программ на космическую станцию) для других служб космической радиосвязи, например, для радиовещательной спутниковой или спутниковой подвижной служб.

Основными сигналами, передаваемыми через линии связи ФСС, являются сигналы телефонии, данных, телеграфии, факсимиле, телевизионных и звуковых программ.

Системы ФСС предназначены для обеспечения связи между стационарными пользователями. Первоначально они разворачивались исключительно для организации магистралей большой протяженности и региональной (зоновой) связи. Такие системы на базе терминалов типа VSAT используются в сетях электронной коммерции, обмена банковской информацией, оптовых баз, торговых складов и др.

К наиболее значительным коммерческим системам фиксированной связи относятся Intelsat, Intersputnik, Eutelsat, Arabsat и AsiaSat;

- подвижная спутниковая служба (ПСС) — между подвижными ЗС (или между подвижными и фиксированными ЗС) с участием одной или нескольких космических станций (в зависимости от места установки подвижной ЗС различают сухопутную, морскую, воздушную подвижные спутниковые службы).

Первоначально мобильные наземные станции разрабатывались как системы специального назначения (морские, воздушные, автомобильные и железнодорожные) и были ориентированы на ограниченное число пользователей. Мобильные ССС первого поколения строились с

использованием геостационарных КА с прямыми (прозрачными) ретрансляторами и имели низкую пропускную способность.

Подсистемы ПСС создавались, в основном, для сетей, имеющих радиальную или радиально-узловую структуру с большими центральной и базовыми станциями, которые обеспечивали работу с подвижными наземными станциями. Потоки в сетях с предоставлением каналов по требованию были невелики, поэтому в них применялись преимущественно одно- или малоканальные наземные станции. Обычно такие сети предназначались для создания ведомственных и корпоративных сетей связи с удаленными и подвижными объектами (судами, самолетами, автомобилями и т.д.), для организации связи в государственных структурах, в районах бедствия и при чрезвычайных ситуациях.

В настоящее время сохраняется деление систем ПСС по видам передаваемой информации на сети радиотелефонной связи (Inmarsat-A, -B и -M, AMSC, MSAT, Optus, AceS) и системы передачи данных (Inmarsat-C, Omnitracs, Euteltracs, Prodat).

Из всех систем ПСС наиболее мощная орбитальная группировка принадлежит международной системе Inmarsat;

- радиовещательная спутниковая служба (РСС) — служба радиосвязи, в которой сигналы космических станций предназначены для непосредственного приема населением. При этом непосредственным считается как индивидуальный, так и коллективный прием; в последнем случае программа вещания доставляется индивидуальным абонентам с помощью той или иной наземной системы распределения — кабельной или эфирной — передатчиком небольшой мощности. Заметим, что термин «радиовещание» объединяет телевизионное и звуковое вещание. Определенная таким образом радиовещательная спутниковая служба включает в себя не все виды систем спутникового вещания, а только те, которые предназначены для приема на сравнительно простые и недорогие приемные установки с качеством, достаточным для абонента, но часто более низким, чем это требуется от магистральных линий подачи программ на наземные вещательные станции.

В настоящее время все системы телерадиовещания строятся на базе спутников на геостационарной орбите.

Таблица 1.1 - Диапазоны частот спутниковой связи

Название диапазона	Частота, ГГц	Служба Радиосвязи
L	1,5/1,6	ПСС
S	1,9/2,2 и 2,4/2,5	ПСС
C	4/6	ФСС
Ku	11/14	ФСС
Ka	18/31	ФСС, ПСС
ENF	40/50	ПСС

Выше приведены международные названия частотных диапазонов, используемых в спутниковых системах связи и вещания и службы, в которых эти частоты применяются (таблица 1.1)[1].

Орбита геостационарного ИСЗ это круговая (эксцентриситет e = 0), экваториальная (наклонение i = 0°), синхронная орбита с периодом обращения 24ч, с движением спутника в восточном направлении на высоте около 36000 км.

Большинство существующих ССС используют наиболее выгодную для размещения спутников геостационарную орбиту, основными достоинствами которой являются:

- возможность непрерывной круглосуточной связи в глобальной зоне обслуживания и практически полное отсутствие сдвига частоты, обусловленного доплеровским эффектом;
- трех спутников достаточно для охвата практически всей территории Земли;
- не требуется система перемещения антенны для слежения за спутником.

Эффектом Доплера называют физическое явление, заключающееся в изменении частоты высокочастотных электромагнитных колебаний при взаимном перемещении передатчика и приемника. В случае движения спутника по орбите эффект Доплера будет зависеть от радиальной составляющей скорости. Этот эффект может возникнуть также и при движении ИСЗ на орбите. Эффект проявляется как нестабильность несущей частоты ретранслируемых спутником колебаний, которая добавляется к аппаратурной нестабильности частоты, возникающей в аппаратуре бортового ретранслятора и земной станции. Эта нестабильность может существенно осложнять прием сигналов, приводя к снижению помехоустойчивости приема.

Относительное изменение частоты у приемника будет равно

$$\Delta f/f_0 = V\times \cos\psi / c \qquad (1.1)$$

где c – скорость света;

V – скорость движения передатчика относительно приемника;

ψ – угол между вектором скорости и направлением связи.

Геостационарные спутники, располагаясь на высоте примерно 36 тыс. км и двигаясь со скоростью вращения Земли, как бы "зависают" над определенной точкой земной поверхности, которая располагается на экваторе (так называемой подспутниковой точкой). В действительности действие сил, связанных с эллиптичностью экватора Земли, гравитационное притяжение Солнца и Луны, а также давление солнечной радиации вызывают дрейф спутника по долготе и его перемещение на север и на юг от экватора по трассе в виде цифры “8”. Для противодействия этим силам на борту спутников применяют системы “удержания станции”. Основными параметрами,

определяющими угловой разнос соседних КА на орбите, являются пространственная избирательность бортовых и наземных антенн, а также точность удержания КА на орбите: чем больше отклонения, тем меньше потенциальная емкость орбиты. Согласно современным требованиям, точность удержания станции по долготе должна составлять $\pm 0{,}1^0$.

Связь через геостационарный КА не имеет перерывов в обслуживании, обусловленных взаимным перемещением спутника и наземной станции. Орбитальный ресурс современных геостационарных КА также достаточно высок и составляет около 15 лет.

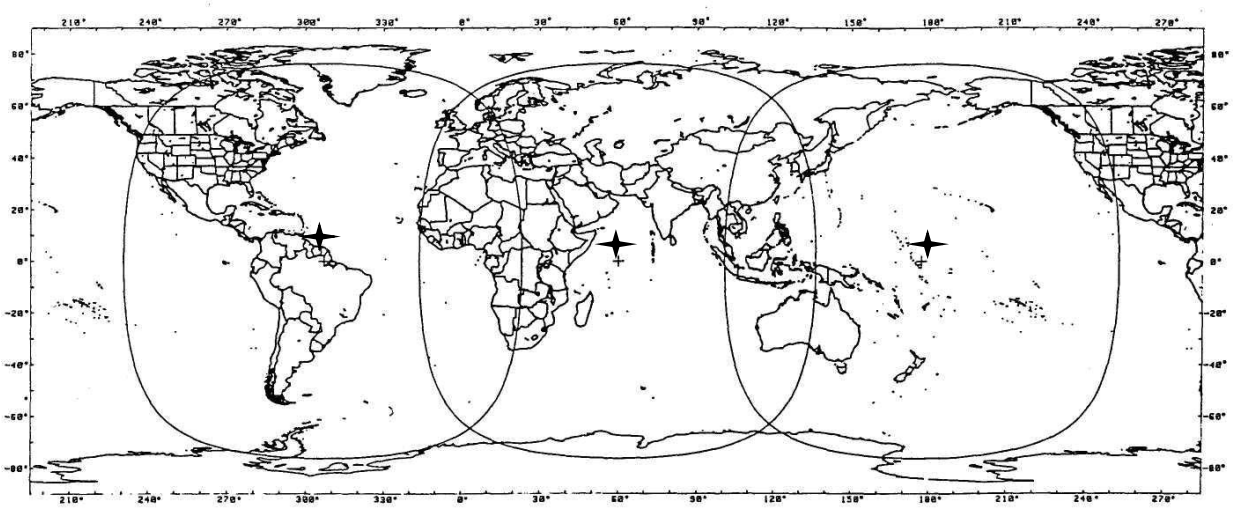

Рисунок 1.1 – Зона покрытия мира спутниками на ГСО.

Система ИНТЕЛСАТ с тремя глобальными лучами в регионах Атлантического, Индийского и Тихого океанов. ✦подспутниковые точки.

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.

Зона охвата геостационарных КА не включает в себя высокоширотные районы (выше 76,50 с.ш. и ю.ш.).

Удаленность спутникового ретранслятора на расстояние 36000 км требует высоких энергетических затрат[2].

1.2 Проблемы и перспективы развития спутниковых систем связи

Значение спутниковой связи для развития телекоммуникаций и средств передачи данных очень высоко. Применение спутниковой связи сыграло не менее важную роль, чем внедрение оптоволоконных средств связи. В тоже время использование спутниковой связи сталкивается с ограниченностью орбитально-частотного ресурса.

Дефицит орбитально-частотного ресурса для систем спутниковой связи и вещания на геостационарной орбите - уже давно является одной из основных проблем радиосвязи, обусловленный естественной ограниченностью угловых размеров уникальной геостационарной орбиты (360°) и ограниченностью выделенных для спутниковой связи полос частот в удобных для практической реализации диапазонах.

На сегодняшний день свободный орбитально-частотный ресурс геостационарной орбиты в диапазонах частот С (4/6 ГГц) и Ku (11–12/14 ГГц), выделенных фиксированной и радиовещательной спутниковой радиосвязи, практически отсутствует из-за наличия большого количества действующих геостационарных спутников и огромного числа заявок от администраций стран-членов Международного союза электросвязи на новые системы спутниковой связи и вещания в этих службах. Проблема дефицита орбитально-частотного ресурса сегодня все чаще затрагивает и действующие геостационарные сети. В сложной помеховой обстановке, сложившейся из-за перегрузки геостационарной орбиты спутниками фиксированной спутниковой связи, участились случаи возникновения взаимных помех между сетями различных администраций, что препятствует нормальной эксплуатации части орбитально-частотного ресурса на действующих спутниках.

В итоге получение частотного ресурса для создания и развития сетей связи и вещания представляет серьезную проблему, а в ряде случаев является главным препятствием для развития многих проектов в области связи и вещания.

Казахстан также столкнулся с серьезной проблемой выделения под свою юрисдикцию оптимальной орбитальной позиции в традиционных С и Ku диапазонах, в заявленных точках орбитально-частотный ресурс для казахстанских спутников связи существенно ограничен.

Поскольку возможность успешной координации и размещения на орбите новых спутниковых систем в этих диапазонах практически исключается, приобрели актуальность освоение и использование диапазона Ка (20/31 ГГц), в котором доступна существенно более широкая полоса частот. Кроме того в указанном диапазоне могут быть решены проблемы совмещения с радиоэлектронными средствами фиксированной спутниковой связи, требующими защиты от помех со стороны систем спутниковой связи и вещания, а также развития спутниковых систем для предоставления высокоскоростного доступа в Интернет и услуг мультимедиа корпоративным и индивидуальным клиентам.

Быстрый рост сетей сотовой связи третьего поколения в Казахстане привел к значительному увеличению доли и объема трафика передачи данных в этих сетях и, как следствие, к необходимости организации широкополосных магистральных каналов к центрам коммутации.

Для крупных населенных пунктов эта задача решается с помощью волоконно-оптических линий связи. Однако в Казахстане существует довольно значительное число населенных пунктов, расположенных на удаленных и труднодоступных территориях, куда прокладывать наземные магистральные каналы невозможно или экономически нецелесообразно[3].

1.3 Предлагаемые решения

Для целей регулирования радиосвязи с учетом электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств земной шар территориально условно разделен Международным союзом электросвязи на три района. Вся территория Республики Казахстан относится к первому району. Известно, что сетям фиксированной спутниковой связи в Ка-диапазоне Регламентом радиосвязи предоставлена широкая полоса частот (например, в 1-ом Районе 18,1–21,2 ГГц для линии вниз, 27−31 ГГц для линии вверх).

Причем в Ка-диапазоне ширина полосы частот выделенной для спутниковой связи составляет 3 ГГц, что в 6 раз шире по сравнению с полосой, выделенной в Ku-диапазоне — 500 МГц. Соответственно и количество транспондеров Ка-диапазона, которые можно вывести на орбиту на одном спутнике, существенно больше, чем в Ku.

Это позволяет создавать широкополосные многоканальные сети телекоммуникаций, конкурентоспособные с наземными волоконно-оптическими сетями, как по пропускной способности, так и по стоимости услуг.

Благодаря значительному частотному ресурсу Ка-диапазона и относительной не загруженности геостационарной орбиты в этом диапазоне могут быть эффективно решены задачи доставки больших объемов трафика на заданную территорию. Возможность формирования узких лучей и, следовательно, повторное использование частот позволяют многократно увеличить пропускную способность системы связи. Стоимость передачи единицы объема трафика в Ка-диапазоне оказывается примерно на порядок меньше, чем в более низкочастотных диапазонах.

Поэтому исследование возможности освоения Ка-диапазона для развертывания в Республике Казахстан высокоскоростных сетей телекоммуникаций имеет большую актуальность.

А так же наряду с положительными сторонами Ка-диапазона нельзя не отметить и проблемы его использования. Самая серьезная - изменяющееся во времени ослабление сигнала на трассе распространения из-за некоторых свойств земной атмосферы и влияния погодных условий, что может приводить к снижению надежности связи. Причинами ослабления сигнала в атмосфере являются:

– рассеяние и поглощение энергии электромагнитных волн газами атмосферы и водяными парами;

– рассеяние радиоволн на частичках пыли и флуктуациях плотности атмосферы;

– поглощение в осадках (туман, дождь, снег, град) и облаках.

На данный момент проблемы использования орбитально-частотного ресурса Ка - диапазона с учетом особенностей затухания в Ка - диапазоне связанных с климатическими условиями Казахстана, а также рынка потребителей, загруженности орбитально-частотного ресурса в С и Ku-диапазонах в полной мере не решены.

Из – за ослабления сигнала в дожде возникают как долговременные, так и кратковременные прерывания сигнала, причем в радиолиниях "Земля-Космос" или "Космос-Земля" процент времени кратковременных прерываний сигнала за счет дождя не должен превышать 0,1% времени любого года.

Известно, что температура воздуха линейно уменьшается с высотой с градиентом – 6°С на километр. Например для территории Казахстана для лета принимается высота нулевой изотермы H_0 = 4 км. Согласно климатическим условиям для территории Республики Казахстан интенсивность дождя равна 22 мм/ч[4].

Для этой величины экспериментально определялось погонное поглощение радиосигнала $\gamma_д$ в дожде для разных частот и вычислялось ослабление радиосигнала в дожде $L_д$. Результаты расчета ослабления сигнала $L_д$ для разных частот представлены на рисунке 1.2.

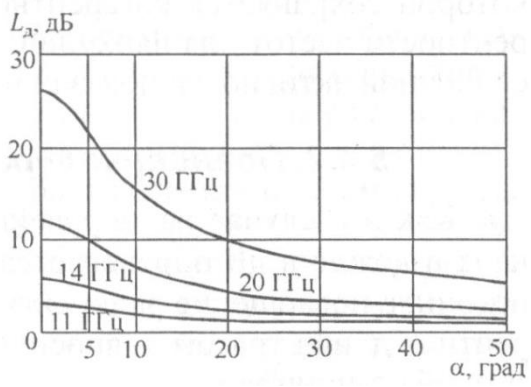

Рисунок 1.2 - Ослабление радиосигнала в дожде при I = 6 мм/ч

Высокая направленность антенн в Ка-диапазоне облегчает создание сетей с узкими лучами спутника, что способствует уменьшению занятого сетью орбитально-частотного ресурса.

Также представляет интерес для исследования совмещение сервисов в сети VSAT (Very Small Aperture Terminal) массового обслуживания Ka-диапазона широкополосного доступа в Интернет и одновременного приема на ту же антенну непосредственного спутникового вещания в Ku-диапазоне, требуется анализ особенностей технологий, оценка технико-экономических

показателей предлагаемого решения с учетом технической эффективности спутниковых каналов связи.

Дальнейшее уменьшение размеров антенн наземных терминалов и переход к персональным ультрамалым терминалам USAT (Ultra Small Aperture Terminal) с диаметром антенн 60–70 см и менее, возможно в диапазоне частот 20/30 ГГц и в более высоких диапазонах частот при переходе к многолучевым антеннам с узкими парциальными лучами с высокой эквивалентно изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) на ретрансляторе космического аппарата. При выполнении требований по электромагнитной совместимости возможно создание сетей USAT и в диапазоне 11/14 ГГц.

Из всего выше сказанного можно сделать выводы, что современный мир уже трудно представить без повсеместно распространенных систем коммуникаций. В первую очередь возникает необходимость наиболее скоростного развертывания и гибкого управления услугами, предоставляемыми оборудованием.

Кроме того, возникает проблема увеличения емкости и помехозащищенности канала. Частотные диапазоны распределены, и использование частотного разделения каналов, с целью увеличения емкости, практически исчерпало свои возможности, поэтому становится очевидным необходимость исследования других подходов к решению этой задачи. Одним из таких подходов является применение пространственного разделения каналов. Если говорить о помехозащищенности, то пространственное разделение с легкостью трансформируется в пространственную фильтрацию, и нежелательные радиосигналы фильтруются с использованием информации о пространственном расположении помех.

Всем вышеперечисленным требованиям в полной мере соответствуют системы беспроводной связи на базе антенных решеток с возможностью цифрового диаграммообразования (ЦДО).

Цифровое диаграммообразование позволяет оперативно изменять характеристики антенны в зависимости от поставленной цели и окружающей обстановки и формировать одновременно большое количество лучей антенны. Благодаря высокой разрядности управления амплитудами и фазами сигналов в элементах решетки обеспечивается хорошая помехозащищенность[4].

2 Антенные системы

2.1 Антенны, используемые в системах спутниковой связи

Одно из важнейших направлений совершенствования современных радиотехнических систем связано с созданием антенных устройств, позволяющих в комплексе всей системы 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.

Существующие многолучевые антенны (МЛА) ретрансляторов современных спутниковых систем связи строятся, в основном, 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°.

Таким образом, разработка эффективной многолучевой широкополосной зеркальной антенны, увеличение допустимого сектора разнесения лучей является важной практической задачей.

Самыми распространёнными спутниковыми антеннами являются параболические антенны (рисунок 2.1). Параболические зеркальные антенны подразделяются на два типа: прямофокусные и офсетные.

Рисунок 2.1 - Прямофокусная параболическая зеркальная антенна

Прямофокусные антенны фокусируют весь сигнал в центре рефлектора и это способствует более точной ориентации на выбранный спутник. Обычно такие антенны используются для приёма сигнала в С-диапазоне как более слабого, однако это возможно и в Ku-диапазоне, а также и комбинированный.

Офсетные антенны фокусируют принятый сигнал в стороне от центра рефлектора, т.е. фокусный сегмент расположен ниже геометрического центра антенны – это устраняет затенение полезной площади антенны облучателем и

его опорами, что повышает ее коэффициент полезного использования при одинаковой площади зеркала с осесимметричной антенной.

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

Примером является тороидальная спутниковая антенна (рисунок 2.2), помимо двух рефлекторов, может оснащаться несколькими конверторами. Благодаря такой технологии производства тороидальная спутниковая антенна способна принимать сигналы от нескольких спутников одновременно, при этом каждый конвертер будет находиться непосредственно в фокусе спутника, на который он направлен – это большой плюс, так как не нужно устанавливать поворотные устройства для поимки сигнала со спутника.

Тороидальная спутниковая антенна очень сложна в изготовлении и настройке – это один из минусов данного типа спутниковых антенн.

Рисунок 2.2 - Тороидальная спутниковая антенна («тарелка» - это зеркало, на котором происходит отражение на определённый угол)

При разработке многолучевой широкополосной ЗА можно увеличить сектор разнесения лучей путем использования сферического зеркала в сочетании с малоэлементными решетками из спиральных облучателей.

Этим достигаются значительное увеличение допустимого сектора разнесения отдельных лучей по сравнению с ГЗА на основе параболических зеркал и упрощается ДОС; спиральные облучатели, обладая всеми достоинствами скалярных рупоров, позволяют уменьшить затенение и реакцию зеркала, увеличить поляризационную развязку.

Такая антенна незаменима при формировании многолучевой ДН с широкоугольным разнесением лучей, например, для многоканального обмена информацией с несколькими спутниками связи, отстоящими друг

от друга на значительные угловые расстояния. Сферическая форма зеркала позволяет предельно просто осуществить качание групповой ДН относительно зеркала, в частности, для стабилизации направления луча в пространстве при размещении станции спутниковой связи на подвижных объектах[5].

Расчет характеристик излучения облучателей в зоне Френеля проводился методом векторного потенциала по распределению тока, рассчитанному обобщенным методом наводимых ЭДС. В качестве облучателя полусферического зеркала диаметром 2,1 м использовался двухзаходный сфероцилиндрический облучатель, параметры которого выбирались на основании результатов, полученных ранее.

Результаты расчета характеристик излучения представлены в таблице 2.1, теоретически рассчитанный коэффициент усиления (рисунок 2.3). Прежде всего, для сравнения основных характеристик исследуемой антенны с известными образцами антенной техники для систем спутниковой связи (ССС) необходимо обозначить некоторые общие критерии. Для ССС однозначным критерием отбраковки антенн является формализованное требование Рекомендации, которое звучит следующим образом:

– имеется заданная кривая $G_ITU(\Theta)$, определенная в угловой области Θ_Σ;

– разрешается 10% превышение КУ испытуемой антенны над кривой $G_ITU(\Theta)$ по критерию:

$$10\% > \sum_{n=1}^{N} \Theta_n \Big/ \Theta_\Sigma \qquad (2.1)$$

где Θ_n – угловая ширина n–го лепестка ДН антенны, в пределах которой имеется превышение указанным лепестком кривой $G_ITU(\Theta)$.

Как видно из рисунка 2.3, для антенны с диаметром апертуры $D_{ap} = 1{,}05м$ наблюдается некоторое превышение кривой $G_ITU(\Theta)$ в области дальних боковых лепестков. Дело в том, что для исследуемой антенны диаметр эффективной апертуры составляет $D_{ap} = 28\lambda$.

Сравнение с близкой по электрическим размерам антенной земной станции ССС С-диапазона, выпускаемой фирмой Andrew, показывает, что все важнейшие параметры сравниваемых антенн (таблица 2.1) практически идентичны, при этом антенна фирмы Andrew прошла все необходимые испытания и имеет сертификат Intelsat Type Approval. Из этого можно заключить, что на практике для антенн с $D_{ap} \le 50\lambda$ применяются другие, более мягкие требования[6].

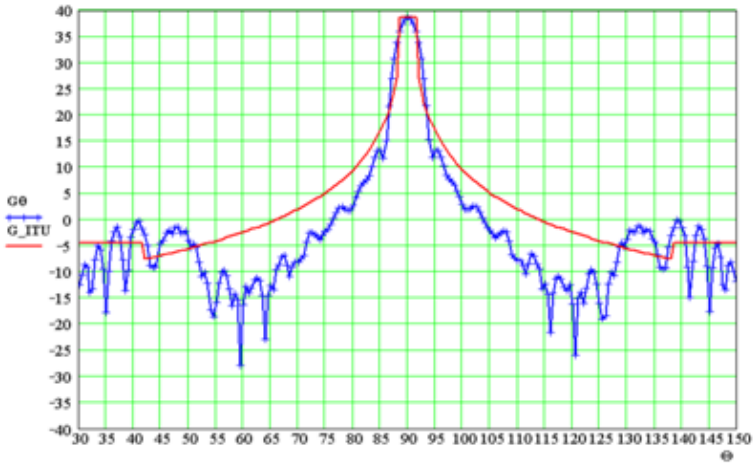

Рисунок 2.3 - Коэффициент усиления сферической зеркальной антенны с одним спиральным облучателем

Таблица 2.1 — Параметры сравниваемых антенн

Параметры антенн	выпускаемая фирмой ANDREW	исследуемая
Усиление, дБ, на частоте, МГЦ: 4000 8000	 41,1 -	 - 46
Ширина ДН, град на уровне, дБ: -3 -15	 1,40 3,12	 1,40 3,00
Поляризация	круговая	круговая
Аксиальное отношение, дБ	1,58	0,09
КСВН	1,3	1,1

Как видно из таблицы 2.1, сферическая зеркальная антенна с выбранным спиральным облучателем по всем основным характеристикам не уступает, а по величине поляризационной развязки превосходит лучшие мировые образцы параболических антенн и может использоваться в земных станциях ССС.

Большой интерес для разработчиков антенной техники представляет оценка потенциально возможных характеристик МЛА на основе сферического зеркала. В первую очередь, к таким параметрам относится допустимый угол разнесения крайних лучей. На основании анализа распределения плотности тока на поверхности зеркала было установлено, что диаметр рабочей зоны на поверхности зеркала для выбранного спирального облучателя составляет около 1,05 м. Допустимый угол разнесения крайних

лучей определяется из условия размещения всей рабочей зоны на поверхности зеркала и в данном случае составляет 120°.

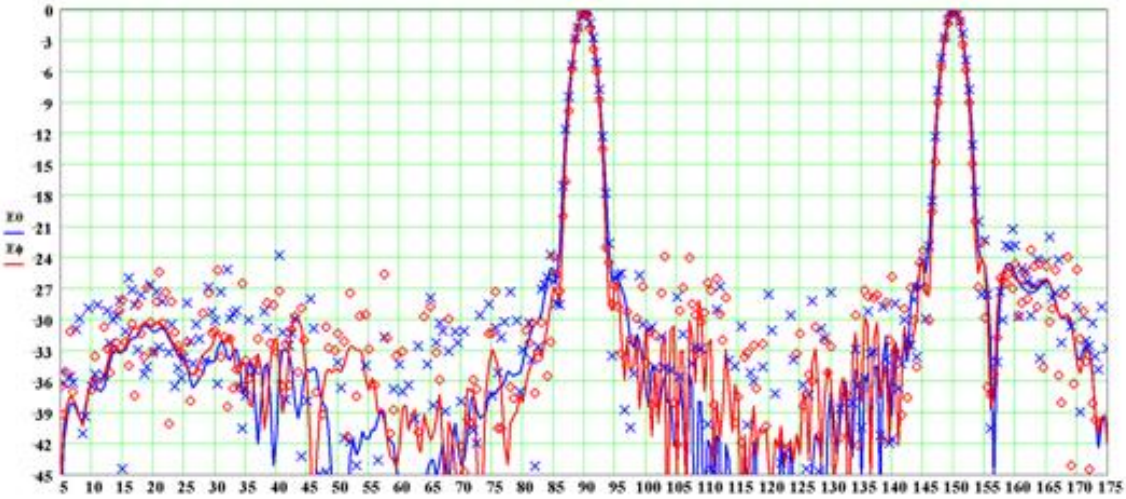

Рисунок 2.4 - Диаграмма направленности двухлучевой зеркальной антенны (сплошными линиями — теория, маркерами — эксперимент)

Увеличение угла разнесения сверх указанного приводит к нарушению симметрии отклоненного луча относительно его оси, а также к росту ширины ДН и уровня бокового излучения в плоскости сканирования.

В отличие от крайних лучей, разнесенных на максимальный угол, для смежных лучей рабочие зоны перекрываются, поэтому при определении минимально возможного угла между смежными лучами большое значение имеет как расстояние между элементами, так и взаимная ориентация точек питания. Следовательно, анализ характеристик излучения МЛА в многолучевом режиме необходимо проводить не для 2, а для 4 элементов, образующих элементарную ячейку на основе которой строится ДОС[7].

Анализ реализуемого углового разноса смежных лучей в многолучевой зеркальной антенне показывает, что существуют ограничения физической реализации таких антенн с облучателями в виде рупоров. Минимально достижимый угловой разнос смежных лучей при еще приемлемых параметрах антенны составляет не менее 1,4–1,5 ширины диаграммы луча, а при оптимальном облучении края зеркала не менее 2,0 ширины диаграммы направленности. Это условие приводит к тому, что при формировании непрерывной рабочей зоны многолучевых спутников в составе бортовой антенной системы используется несколько (3–4) зеркальных многолучевых антенн (например спутники Ka-Sat, Viasat-1 и др.) Следует отметить, что постоянно идет поиск простых решений, позволяющих снизить минимально достижимый угловой разнос смежных лучей. Кроме того, одним из наиболее известных других методов является замена каждого облучающего рупора группой облучающих рупоров (с меньшим раскрывом), образующих ФАР. Апертуры этих ФАР электрически пересекаются (то есть формируется

гибридная зеркальная антенна). Однако эффективность таких решений и их физическая реализация для бортовых антенн коммерческих спутников связи типа HTS (high throughput satellites) требует дополнительных научных исследований и сравнительных оценок достоинств и недостатков с учетом достигаемых электрических параметров (с учетом потерь и проблем широкополосности в диаграммообразующих устройствах ФАР) и массогабаритных характеристик, поскольку высокая эффективность гибридных зеркальных антенн достигается при большом числе излучателей в облучающей ФАР[8].

2.2 Фазированные антенные решетки как пример систем с цифровым диаграммообразованием

Антенна с электронным сканированием или с немеханическим движением луча осуществляет обзор пространства в заданном пространственном углу.

Антенны с электронным сканированием представлены в виде решетки, в узлах которой расположены простейшие излучатели электромагнитной волны. Цепи питания этих излучателей организованны так, что излучение, испускаемое каждым излучателем, когерентно с излучением всех излучателей, в то время как фаза излучаемых волн изменяется по заданному закону. Изменение распределения фаз на излучателях позволяет формировать луч антенны в заданном направлении. Такая решетка излучателей с управляемым распределением фаз волн, излучаемых элементарными излучателями получила название фазированной антенной решетки (ФАР).

Фазированная антенная решётка представляет собой тип антенн, в которых относительные фазы сигналов изменяются комплексно, так, что эффективное излучение антенны усиливается в каком-то одном, желаемом направлении и подавляется во всех остальных направлениях.

Таким образом управление фазами позволяет антенной системе с применяемой ФАР:

– формировать необходимую диаграмму направленности (ДН) антенны (например, остронаправленную ДН типа луч);

– изменять направление луча неподвижной антенны, таким образом осуществляя быстрое сканирование — качание луча;

– управлять в определённых пределах формой ДН — изменять ширину луча, интенсивность (уровни) боковых лепестков.

Эти свойства ФАР, а также возможность применять для управления ФАР современные средства автоматики и вычислительной электроники обусловили их перспективность и обширное использование в радиосвязи, радионавигации, радиолокации и радиоастрономии. ФАР, содержащие большое число управляемых элементов, входят в состав различных наземных, корабельных, авиационных и космических радиоустройств.

Большинство современных связных геостационарных спутников разрабатывается на основе технологии цифровых антенных решеток (ЦАР).

Реализуемые в них методы цифрового диаграммообразования (ЦДО) – это новое направление не только в технике космического аппаратостроения, но и в наземной инфраструктуре спутниковой связи.

Преимущества цифрового формирования лучей:

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

– большая степень свободы в выборе формы и направлений фокусировки лучей;

– 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 также обеспечить устойчивость функционирования наземного сегмента системы в условиях многолучевого распространения радиоволн;

– ЦДО 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.

Различают антенны с одномерным и двумерным сканированием, другими словами антенны с движением луча в одной плоскости и в двух плоскостях. Примером антенны с одномерным сканированием может послужить антенны радиолокатора, обеспечивающего управление движением в акватории морского порта, где все объекты, с которыми устанавливается связь находятся на водной поверхности.

При обеспечении связи с искусственным спутником земли или при управлении движением в районе большого аэропорта, направления на объекты, с которыми устанавливается связь, могут находиться под разными углами, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. В таких случаях луч антенны должен перемещаться в двух плоскостях.

На рисунке 2.5 показана схема антенны с одномерным сканированием. Антенна представляет собой линейку излучателей, которые на рисунке схематически представлены в виде рупорных излучателей.

Вход антенны представлен одним волноводом или коаксиальным кабелем, который соединяется с приемником, передатчиком или другой радиотехнической системой. Между входом и излучателями расположен

делитель мощности, и в цепи питания каждого излучателя включен фазовращатель.

Фазовращатели управляются от единого устройства управления (компьютера) и формируют требуемое распределение фаз на излучателях. На рисунке 2.5 показан плоский фазовый фронт, расположенный под углом Θ_k по отношению к плоскости расположения излучателей. Главный луч антенны формируется вдоль нормали по отношению к фазовому фронту волны, заданной излучателями, и таким образом, главный луч антенны отклонен от оси симметрии антенны так же на угол Θ_k[9].

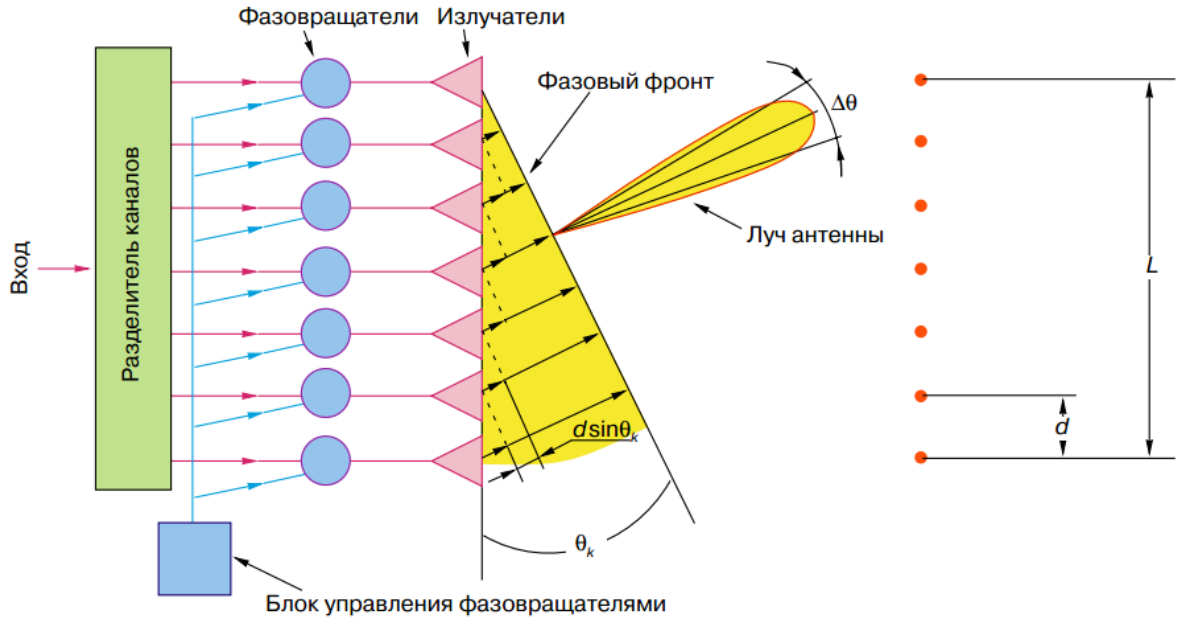

Рисунок 2.5 – Схема фазированной антенной решетки

Одним из примеров практической реализации ЦДО является система Thuraya, введенная в эксплуатацию в 2001 году компанией Thuraya Satellite Telecommunications. Полная проектная мощность системы Thuraya рассчитана на обслуживание 1,75 млн. абонентов.

Одно из последних достижений в антенной технике геостационарных спутников применение антенной решетки с организацией большого числа узких лучей реализовано в системе Thuraya.

На борту применяется цифровая диаграммообразующая схема, которая позволяет изменять конфигурацию лучей в зоне покрытия и включать в излучаемый поток дополнительные лучи. Высокая спектральная эффективность достигается за счет 30-кратного повторного использования рабочих частот. Рефлектор выполнен из теплоустойчивого графито-композитного материала, что делает столь громоздкое сооружение достаточно прочным и легким (вес антенной системы составляет всего 78 кг). На рисунке 2.6 изображен КА Thuraya.

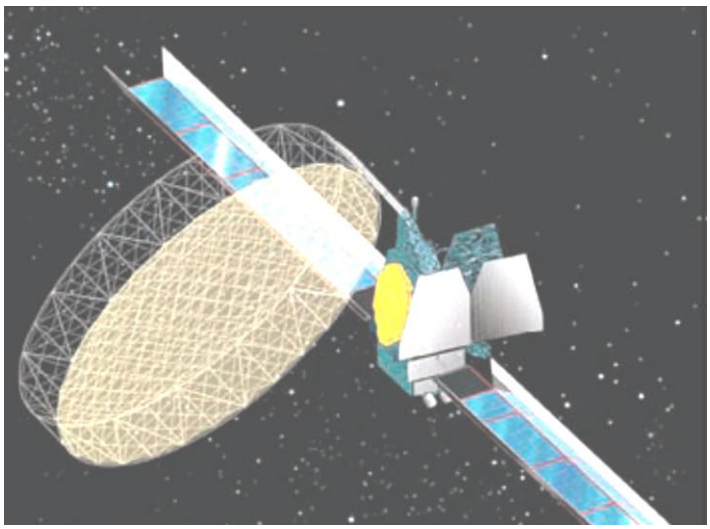

Рисунок 2.6 – Космический аппарат Thuraya

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

Таблица 2.2 – 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 системы в каждом приемном канале ЦАР вместо фазовращателей установлены аналого-цифровые преобразователи (АЦП) схема ЦАР (рисунок 2.7).

В приемных каналах (рисунок 2.7а) 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.

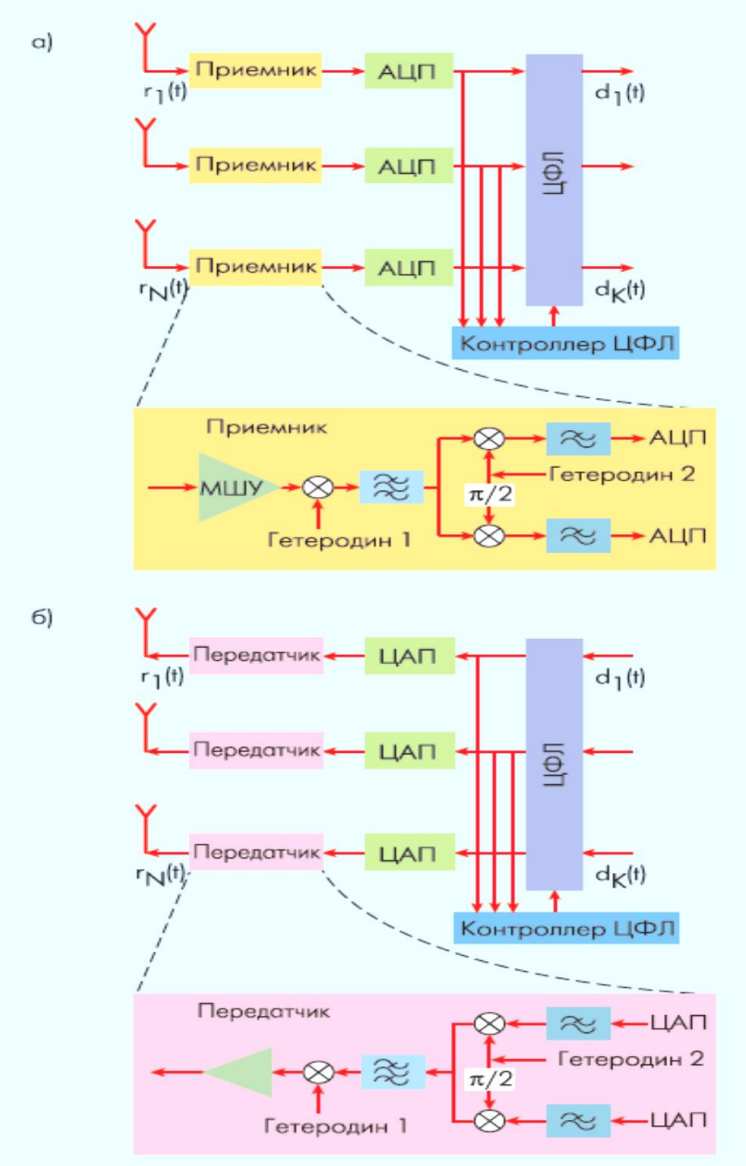

Рисунок 2.7 – а) приемный, б) передающий сегменты цифровой антенной решетки

На рисунке 2.7б продемонстрирована работа ЦАР на передачу. 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.

В настоящее время Thuraya предоставляет услуги мобильной спутниковой связи более чем в 140 странах по всему миру в том числе и в Казахстане, зона покрытия сети охватывает большую часть планеты, включая Азию, Африку, Австралию, Ближний Восток и Европу.

Система использует 3 спутника, находящихся на геостационарных орбитах. Телефонные терминалы Thuraya отличаются от других спутниковых телефонов, так как могут работать как в спутниковой сети, так и в наземных GSM-900 сетях других операторов. Thuraya заключила роуминговые соглашения с большим количеством GSM-операторов по всему миру.

Каждый спутник Thuraya поддерживает до 512 лучей, каждый из которых обеспечивает покрытие на территории площадью до 600 км^2. В случае возникновения перегрузки сети на каком-то локальном участке, спутник увеличивает мощность соответствующего луча, чтобы сконцентрировать 20% общей пропускной способности в одном луче или 40% в трех лучах, в зависимости от текущей потребности. Такое динамическое перераспределение нагрузки также позволяет компании Thuraya предоставлять уникальную услугу вызова высокой мощности.

Появление и развитие фазированных антенных решеток с цифровым диаграммообразованием – одна из ветвей триумфального шествия радиоэлектроники. Техника ФАР объединила в себе решение проблем электродинамики, физики твердого тела и способов обработки информации. Развитие ФАР оказалось серьезным стимулом решения проблем СВЧ-микроэлектроники как основы микроминиатюризации СВЧ-компонентов и обеспечения их массового производства. В состав ФАР может входить около 10000 элементов, каждый из которых представляет собой законченное устройство. Только широкое освоение производственных приемов микроэлектроники смогло технически и экономически обеспечить приемлемую стоимость больших ФАР[10].

2.3 Варианты построения систем цифрового диаграммообразования

Построение систем цифрового диаграммообразования возможно несколькими основными способами.

Схема, где ЦДО является частью приемного тракта каждого элемента ФАР – простейший вариант схемы. Последовательное суммирование отсчетов сигнала, полученных от предыдущего элемента со взвешенными значениями отсчетов сигнала приемника, позволяет вычислить выходной сигнал. На выходе N приемника формируется диаграмма направленности, данный алгоритм реализован схеме, представленной на рисунке 2.8.

Недостатки данной схемы: ограничение на максимальное число элементов решетки и приемных каналов, обусловленное ограничениями на скорость переда данных и задержкой при передаче информации.

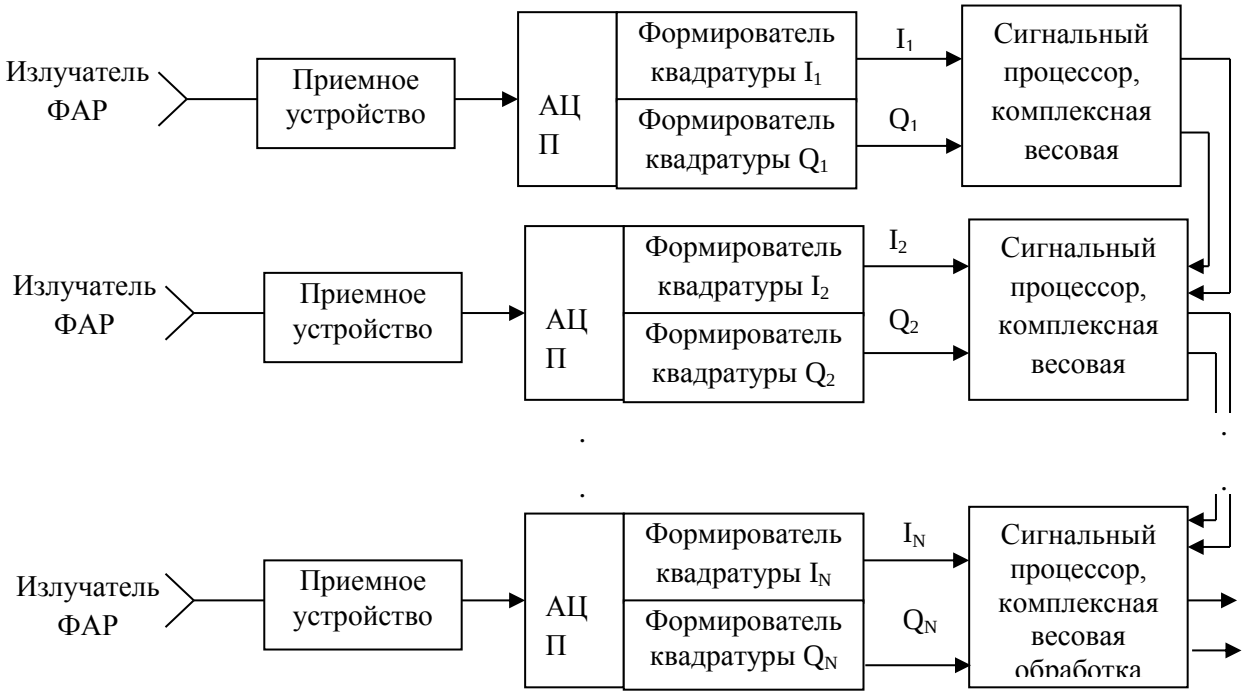

Рисунок 2.8 – Схема ЦДО с последовательным суммированием

Для устранения этих недостатков в следующих разработках умножение на весовые коэффициенты происходит непосредственно в каждом элементе ФАР, суммирование отсчетов выполняется в общем устройстве.

Наибольшее распространение получили системы использующие подрешетки, схема изображена на рисунке 2.9.

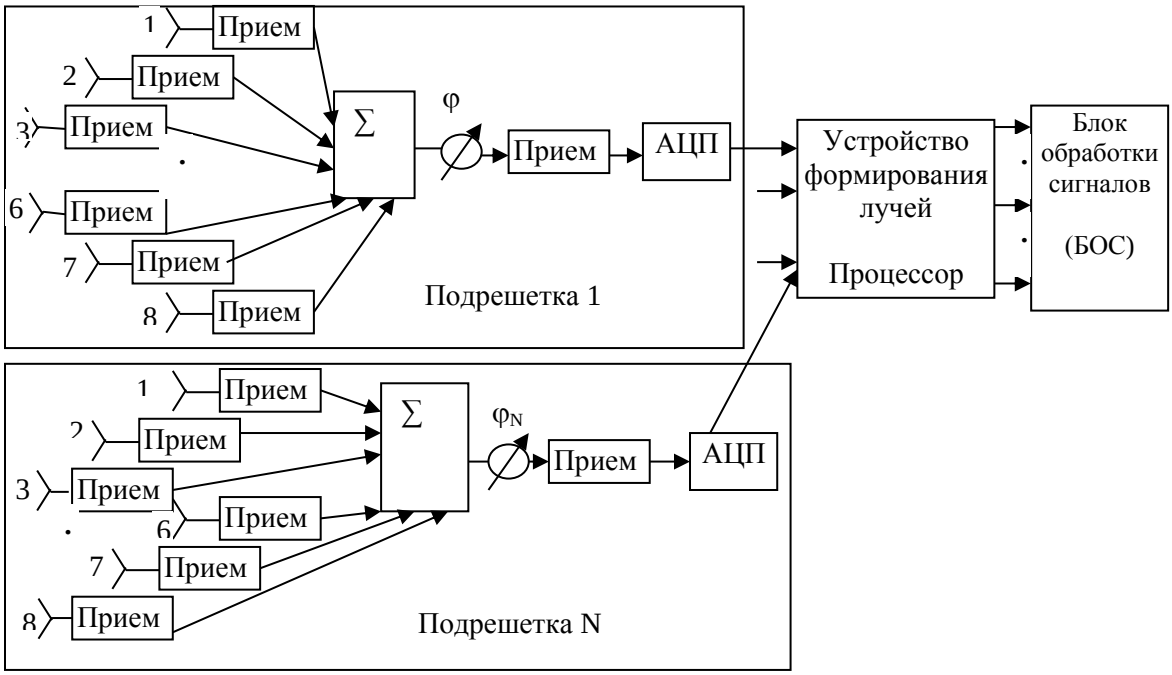

Рисунок 2.9 - Схема цифрового диаграммообразования с применением подрешеток

В таких схемах уменьшается объем вычислений за счет обработки в два этапа. Первый этап – группировка смежных элементов, сигналы которых объединяются с одинаковыми весовыми коэффициентами и образуют широкие лучи. Второе устройство формирует окончательные лучи, за счет предварительной обработки уменьшается количество входных сигналов. Оптимальные весовые коэффициенты лучше аппроксимируются для меньшего размера подрешеток.

3 Расчет

3.1 Расчет диаграммы-направленности антенны

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.

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 к фазе и усилят друг друга рисунок 3.1. Отклонение луча в ФАР на угол φ обеспечивается изменением фазы сигнала от излучателя к излучателю при разности фаз в соседних излучателях $2\pi(s/\lambda)\sin\varphi$.

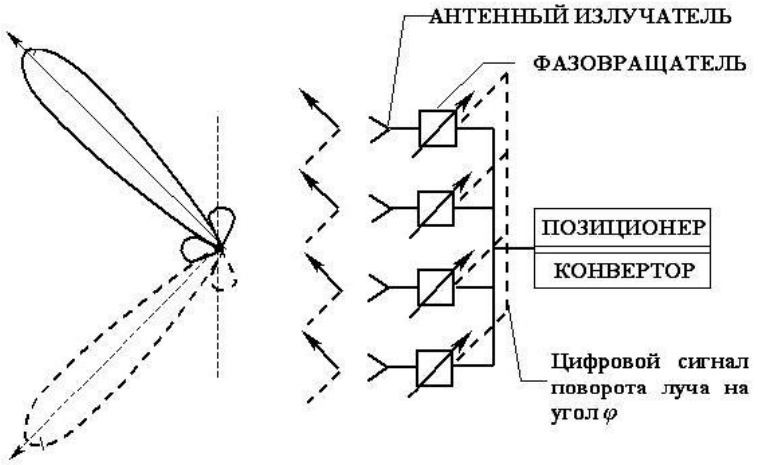

Рисунок 3.1 – Фазированная антенная решетка

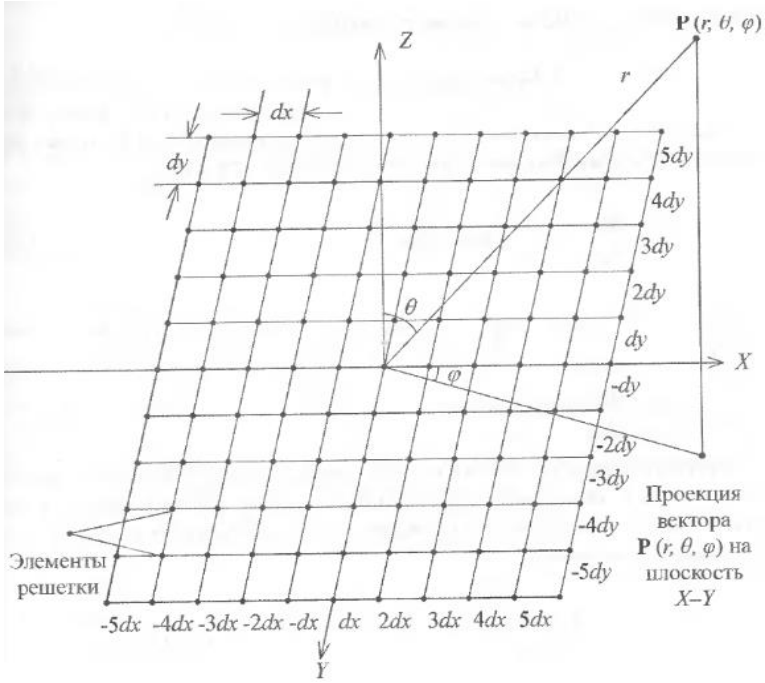

Рисунок 3.2 - Двумерный массив излучателей из $M \times N$ элементов

Управлять лучом в двух измерениях в плоской антенной решетке можно, вводя соответствующий фазовый сдвиг в каждый элемент[12].

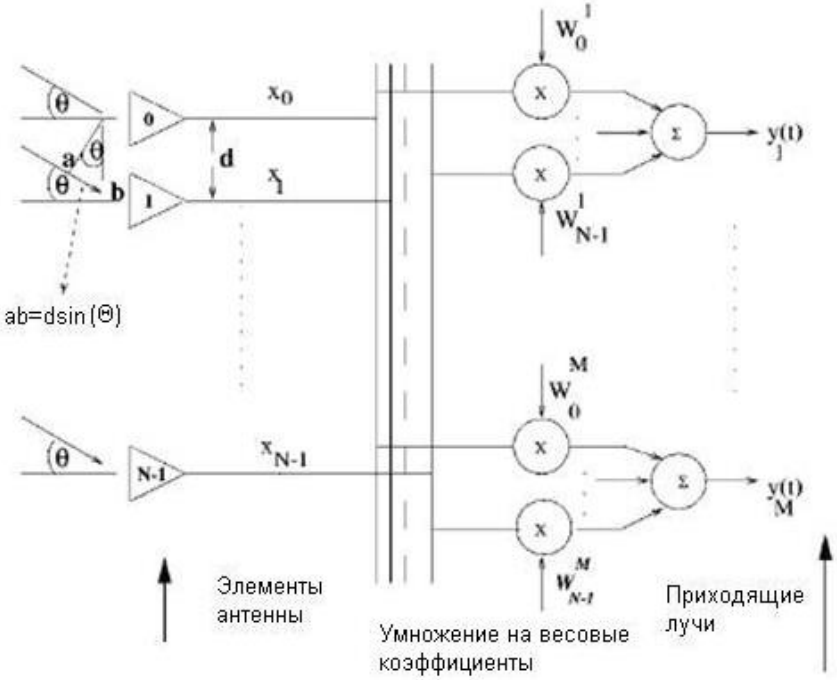

Рисунок 3.3 – Многолучевая приемная антенна

Рассмотрим прием сигналов антенной решеткой. Так как источник находится в дальней зоне, принимаемые лучи параллельны. Различное

расстояние вдоль двух лучевых траекторий d·sinΘ, где Θ произвольный угол прихода $-\frac{\pi}{2} \le \Theta \le \frac{\pi}{2}$.

Угол прихода отличается для каждого луча, рисунок 3.3 отображает приход только одного луча. Каждый элемент взвешен комплексным весом W_n^i, где n= 0,1,2,3,..., N-1 и i=1,2,3,…,M.

Считая, что фаза принятого луча от элемента антенны i равна 0, выходной луч решетки равен:

$$y_i(t) = W_0^i \cdot e^{j2\pi f_0 t} + W_1^i \cdot e^{j2\pi f_0 (t+\tau)} + ... + W_{N-1}^i \cdot e^{j2\pi f_0 (t+(N-1)\tau)}, \qquad (3.2)$$

$$\tau = \frac{d \cdot \sin(\Theta)}{c}. \qquad (3.3)$$

где c – скорость света.

Подставляя τ из (3.3) в (3.2) получаем:

$$y_i(t) = F_i(\Theta) \cdot e^{j2\pi f_0 t}, \qquad (3.4)$$

где $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$,

λ – длина волны

Фактор решетки:

$$F_i(\Theta) = \sum_{n=0}^{N-1} W_n^i \cdot e^{j\beta n d \cdot \sin(\Theta)}, \qquad (3.5)$$

Пусть фаза n-го элемента приводит к тому что n-1 элемент $\alpha_i d$. Введя весовой коэффициент $A_i(n)$ для i-го луча, элемента n получим:

$$W_n^i = A_i(n) \cdot e^{jn\alpha d}, \qquad (3.6)$$

Соответственно i-й коэффициент массива будет равен:

$$F_i(\Theta) = \sum_{n=0}^{N-1} A_i(n) \cdot e^{j(\beta n d \cdot \sin(\Theta) + n\alpha_i d)}, \qquad (3.7)$$

Форма луча зависит от веса. Предполагая равномерное распределение, вес имеет одну величину для всех $A_i(n)= A_i$.

Используя формулу $\sum_{n=0}^{N-1} a^n = (1-\frac{a^n}{1-a})$ получим фактор решетки:

$$F_i(\theta) = A_i c^{j(\frac{N}{2})[\alpha_i+\beta\sin(\theta)]d\frac{\sin\left\{\frac{N}{2}[\alpha_i+\beta\sin(\theta)]d\right\}}{\sin\left\{\frac{N}{2}[\alpha_i+\beta\sin(\theta)]\frac{d}{2}\right\}}}, \quad (3.8)$$

Абсолютная величина:

$$|F_i(\theta)| = A_i \left|\frac{\sin\left\{\frac{N}{2}[\alpha_i+\beta\sin(\theta)]d\right\}}{\sin\left\{\frac{N}{2}[\alpha_i+\beta\sin(\theta)]\frac{d}{2}\right\}}\right|, \quad (3.9)$$

Для i-го луча и угла Θ, α_i=-βsin(Θ), диаграмма мощности этого массива в направлении Θ_i:

$$|F_i(\theta)| = A_i \left|\frac{\sin\left[\frac{\pi N d}{\lambda}\{\sin(\theta)-\sin(\theta_i)\}\right]}{\sin\left[\frac{\pi d}{\lambda}\{\sin(\theta)-\sin(\theta_i)\}\right]}\right|, \quad (3.10)$$

Изменяем усиление луча, каждый луч имеет (N-2) боковых лепестков. Фаза коэффициента Wn^i позволяет изменять направление главного луча. Нули основного луча наблюдаются из (3.10).

$$\frac{\pi N d}{\lambda}\{\sin(\Theta)-\sin(\Theta_i)\} = \pm\pi, \quad (3.11)$$

Тогда ширина главного луча между нулями равна:

$$BW_0 = \sin^{-1}\left[\sin(\Theta_i)+\frac{\lambda}{Nd}\right] - \sin^{-1}\left[\sin(\Theta_i)-\frac{\lambda}{Nd}\right]. \quad (3.12)$$

Таким образом, ширина луча зависит от числа элементов, расстояния между ними (относительно λ), и направления луча.

В формуле (3.10) повторяется каждый 2π радиан и поэтому может быть более чем один главный луч в видимой области. Чтобы этого избежать, расстояние d всегда должно быть меньше λ.

Далее для заданного числа элементов, изменяя интервал между ними, исследуем ширину главного луча.

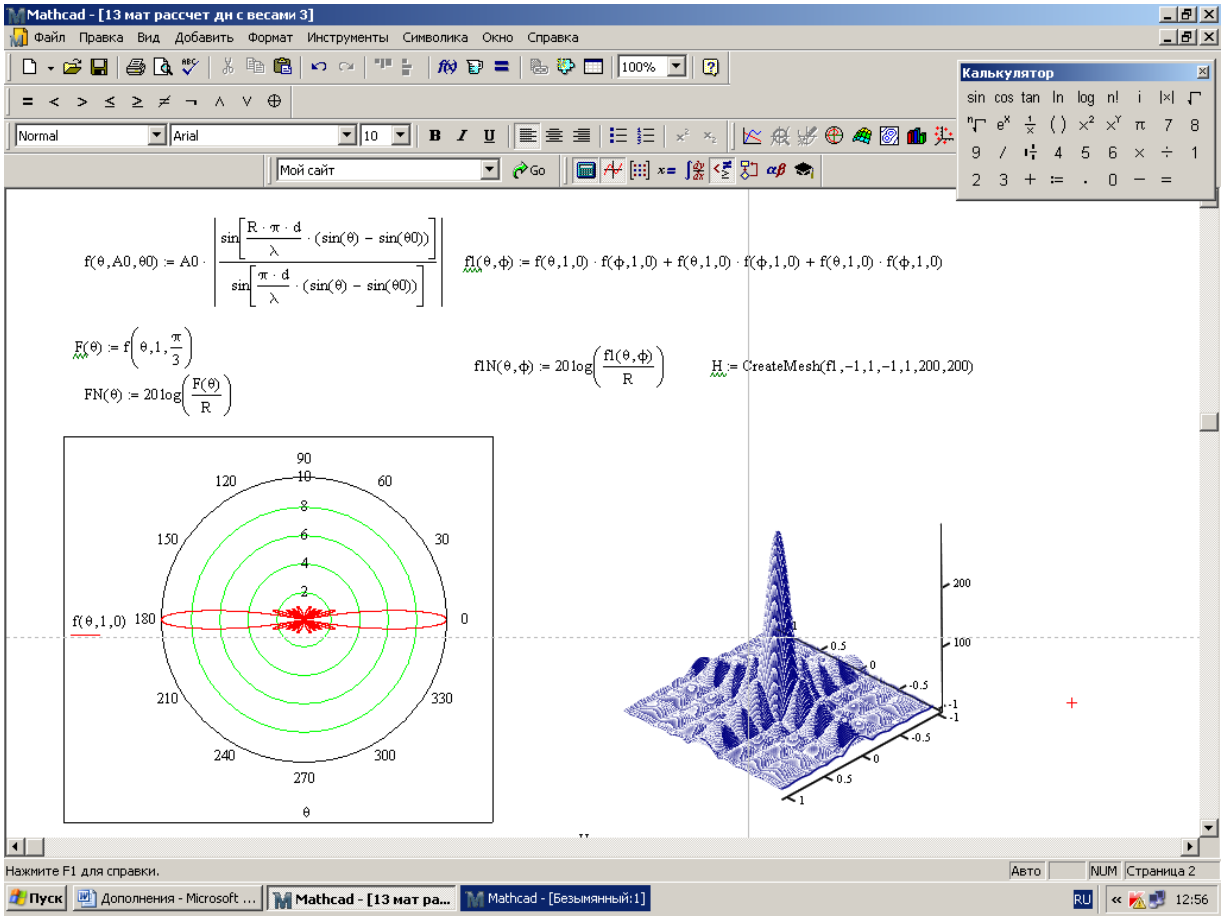

Рисунок 3.4 – Скриншот программы MathCAD

Рассмотрим диаграмму направленности АР с размерностью 5×5 элементов. Рассчитаем ДН для различных расстояний между элементами. На рисунке 3.3 приведены результаты расчетов при d = 0,5λ; 0,8λ; λ где λ = 0.188м, что соответствует частоте 1,6 ГГц.

На основе выражения (3.1) с использованием математического пакета MathCAD построены диаграммы направленности АР.

На рисунке 3.4 скриншот построения ДН антенной решетки в программе MathCAD.

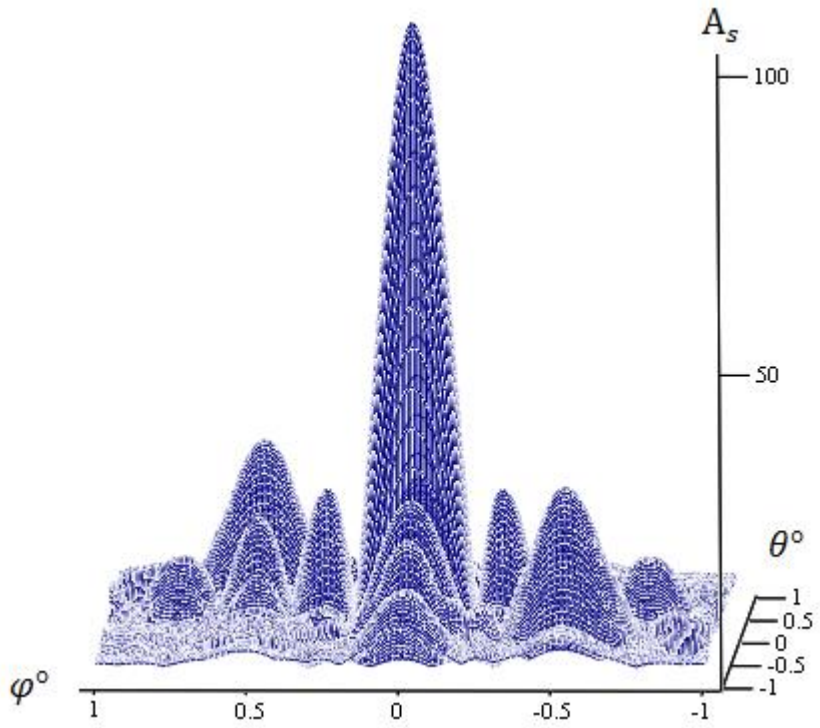

Рисунок 3.5 – ДН антенной решетки d= 0,5λ, R=10

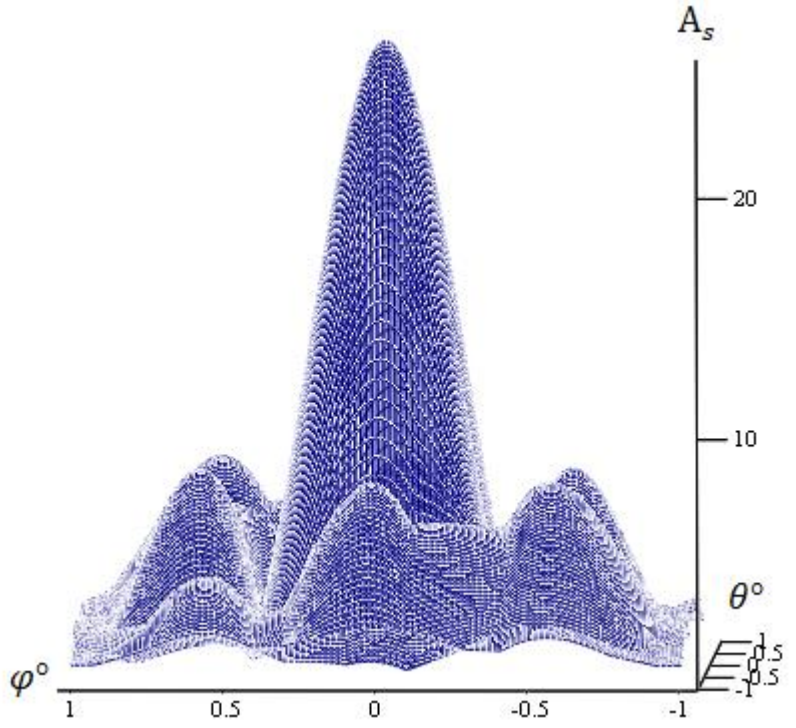

Рисунок 3.6 – ДН антенной решетки d= 0,5λ, R=5

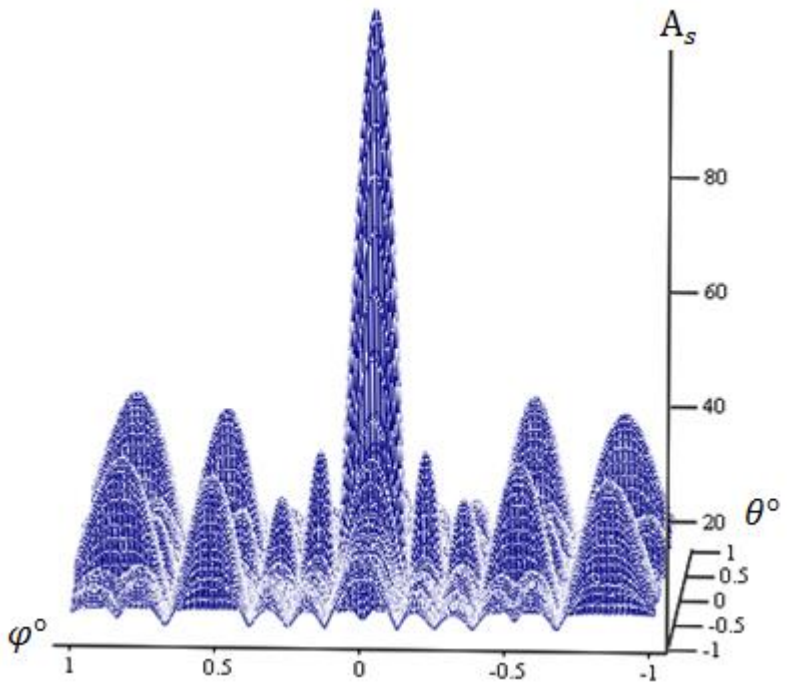

Рисунок 3.7 – ДН антенной решетки d= 0,8λ, R=10

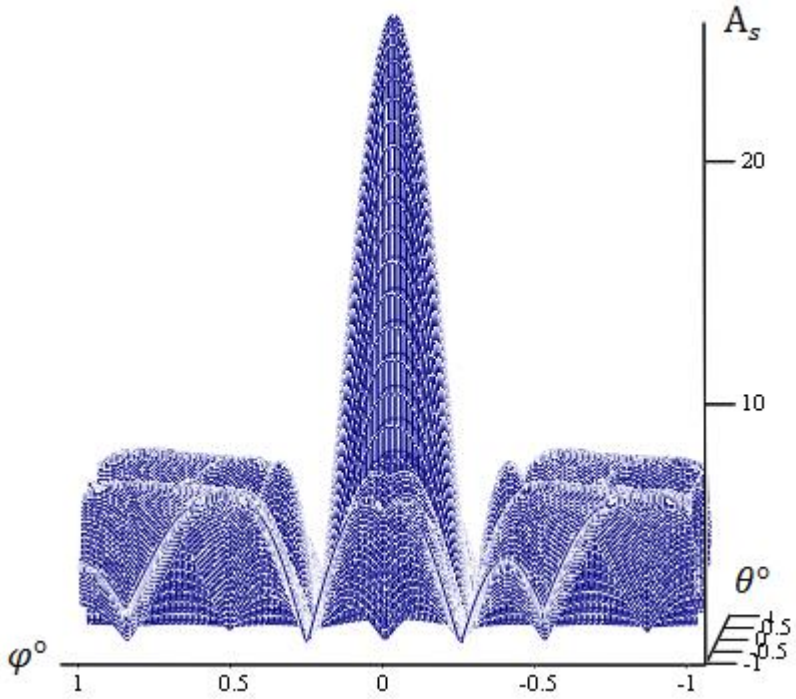

Рисунок 3.8 – ДН антенной решетки d= 0,8λ, R=5

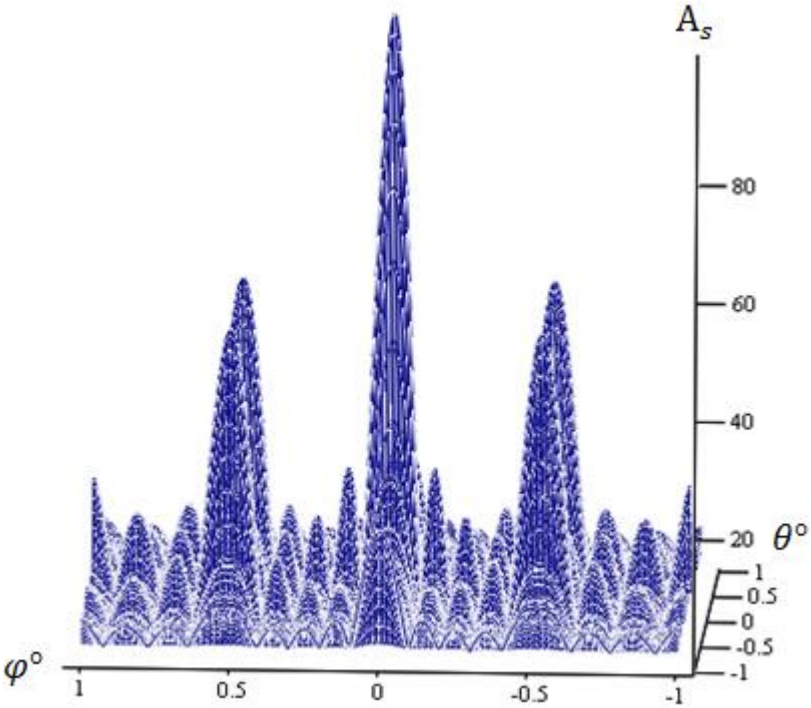

Рисунок 3.9 – ДН антенной решетки d= λ, R=10

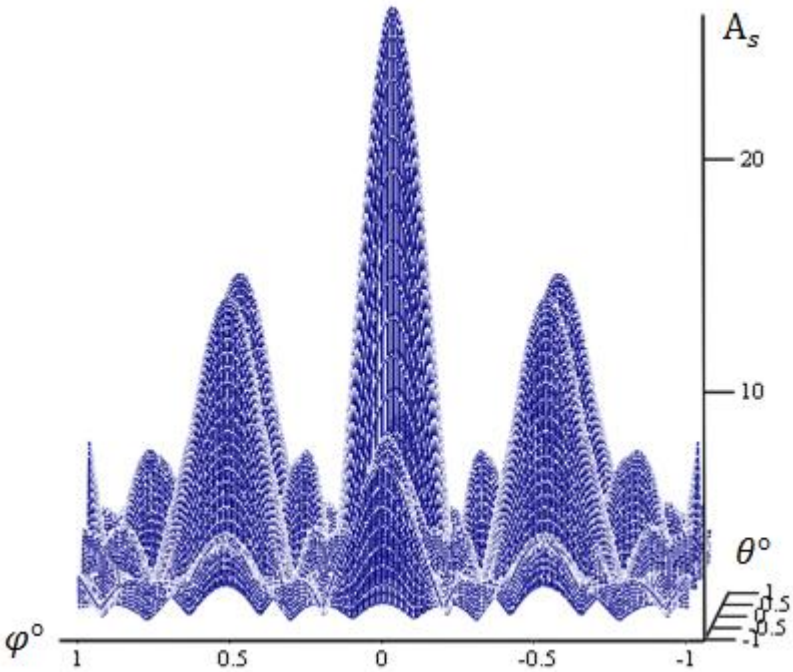

Рисунок 3.10 – ДН антенной решетки d= λ, R=5

Если проанализировать полученные рисунки, видно, что для получения узкого луча диаграммы направленности антенны, необходимо использовать решетку с количеством излучателей не менее 10. Увеличение количества облучателей с 5 до 10 резко сужает главный лепесток ДН (рисунки 3.5 и 3.6).

Изменение расстояния между облучателями влияет на уровень боковых лепестков. Так, например, при увеличении расстояния между излучателями более 0,5λ, амплитуда боковых лепестков ДН близка к амплитуде главного лепестка (рисунки 3.9 и 3.10). Боковые лепестки возникают в направлениях, для которых разность фаз полей соседних излучателей составляет $2\pi n$, где n = ±1, ±2,… (n = 0 соответствует главному максимуму).

Амплитуда и количество боковых лепестков сильно зависит от расстояния между излучателями и направления главного лепестка. Чтобы уменьшить амплитуду и количество боковых лепестков диаграммы направленности антенны, используют специальную форму диаграммы направленности отдельных излучателей.

Для получения многолучевой диаграммы направленности необходимо использовать антенную решетку с большим количеством излучателей более 10 и расстоянием между ними не более 0,5λ.

Рассчитаем размеры решетки для разных длин волн:

$$L_N = N_d, \quad L_M = M_d.$$

N=M, из этого следует L_N=L_M.

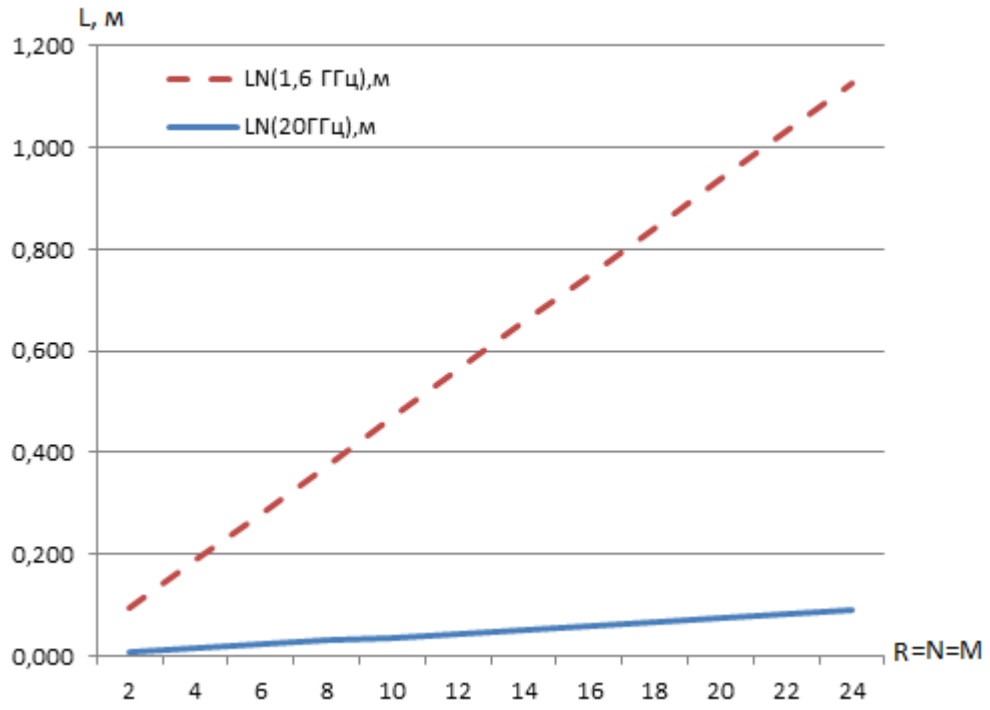

Рисунок 3.11 - Зависимость размера фазированной антенной решетки от количества элементарных излучателей при различной длине волны

В программе Microsoft Excel построены графики зависимости размера фазированной антенной решетки от количества элементарных излучателей при различной длине волны для $\lambda_{20} = 0.015$ м и $\lambda_{1.6} = 0.188$ м (рисунок 3.15).

Для перспективного частотного диапазона Ка (20-30 ГГц) размер антенны составит около 10см, то есть можно использовать малые терминалы.

3.2 Энергетический расчет спутниковой линии связи

Исходные данные:
Космическая станция Thuraya.
Используемые частоты:
Каналы на пользовательские терминалы:

- земля-космос 1626,5 — 1660,5 МГц;
- космос-земля 1525,0 — 1559,0 МГц.

Каналы на станцию управления:

- земля-космос.

Антенна, используемая для связи с терминалами — 128-элементная фазированная антенная решётка диаметром 12 м. Антенна позволяет формировать до 200—300 лучей на пользовательские терминалы или их группы.
Thuraya-3:
Международный номер полёта: 2008-001A:

- дата запуска: 15 января 2008 11:48:59 UTC;
- масса: 5173 кг;
- планируемый срок службы: 12 лет;
- находится на геосинхронной орбите в позиции 98,5° в.д..

Технические характеристики:

- размеры (высота/ширина/глубина) - 128x53x26,5 мм.;
- время работы в режиме ожидания - до 80 часов;
- время работы в режиме разговора - до 6 часов;
- мощность терминала – 0,2 W.

Передача данных:

- передача данных (dial-up) и факсимильных сообщений на скорости 9,6 kbps;
- параметры GmPRS: Загрузка - до 60 кбит/сек, Отгрузка - до 15 кбит/сек.

Мощность системы электропитания	8000 Вт
Точность удержания на орбите	±0,1°
Масса полезной нагрузки	1000 кг
Мощность, выделяемая на полезную нагрузку	6300 Вт
ЭИИМ	42 дБВт
Рабочий диапазон	L
Количество пучков	до 100

Описание системы:

Рассмотрим систему передачи речевых сообщений. В настоящее время для передачи речи достаточно скорости 8 кбит/с, для передачи служебной информации используется 20% от полезной скорости. В системе используется модуляция типа 8PSK, следовательно, M=8 и α=1,25, FEG выберем равным 7/8. $G_{ARX} = 10$ дБ.

Координаты Алматы в десятичных градусах:

Широта: 43.2500000

Долгота: 76.9500000

Географические координаты МА:

Широта: 51.1801000

Долгота: 71.4459800

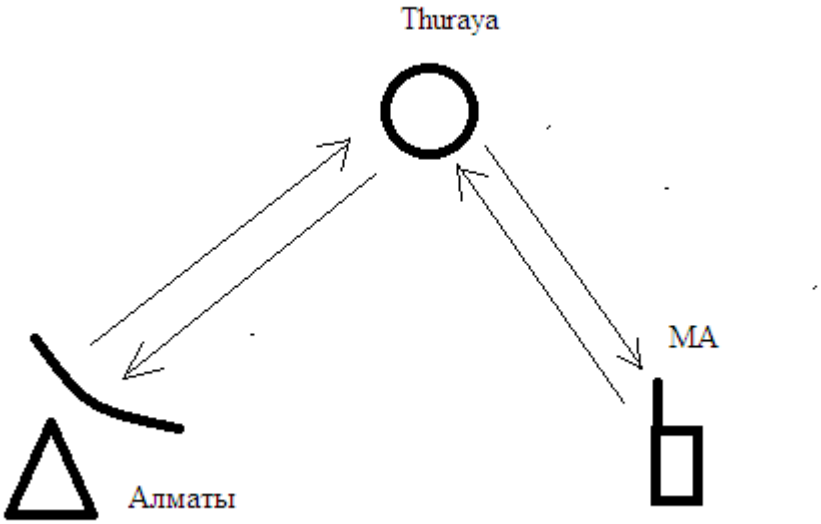

Рисунок 3.12 - Система передачи речевых сообщений между КА Thuraya и ЗС

3.2.1. Определение параметров линии связи между космической станцией и МА

Постановка задачи:

Определить энергетические параметры линии связи при известных характеристиках передающей и приемной ЗССС.

Данная задача решается путем последовательного расчета энергетики линии вниз и затем вверх.

Расчет линии вниз:

Определим символьную скорость:

$$SR = \frac{IR+OH}{FEC \cdot \log_2 M} = \frac{8+1.6}{7/8 \cdot \log_2 8} = 3{,}657 \text{ кбайт}, \qquad (3.13)$$

где IR - скорость передачи полезной информации, кбит/с;

OH - скорость передачи служебной информации, кбит/с или %;
FEC - скорость кода;
M - кратность модуляции.

Определим полосу частот, выделяемую для сигнала в полосе транспондера:

$$B_{alc} = \alpha \cdot SR = 1{,}25 \cdot 3{,}657 = 4{,}571 \text{ кГц}, \quad (3.14)$$

где α - коэффициент увеличения отводимой сигналу полосы по сравнению с занимаемой.

Соотношение сигнал/шум на входе приемника $\frac{C}{N} = 7$, дБ.

Определим расстояние до спутника от приемной ЗССС:

$$R_{DN} = 42645\sqrt{1 - 0.2954 \cos\varphi_{RXES} \cdot \cos(\lambda_{KA} - \lambda_{RXES})}\,, \quad (3.15)$$

$$R_{DN} = 42645\sqrt{1 - 0{,}2954 \cos 51{,}18 \cdot \cos(98{,}5 - 71{,}446)} = 38970 \text{ км}.$$

где φ_{RXES} - географическая широта места ЗССС, град;
λ_{KA} - долгота подспутниковой точки, град;
λ_{RXES} - географическая долгота места ЗССС, град.

Затухание энергии в свободном пространстве:

$$L_{DN} = 32{,}45 + 20\log(R_{DN}) + 20\log F_{DN}, \quad (3.16)$$

$$L_{DN} = 32{,}45 + 20\log(38970) + 20\log 1{,}5 = 187{,}786 \text{ дБ}.$$

где $F_{DN} = 1{,}5$, Ггц – центральная частота транспондера на линии вниз, ГГц.

Угол места антенны принимающей земной станции (R_{KA}=42165 км, R_E=6371 км):

$$\beta_{RX} = \arcsin\left(\frac{{R_{KA}}^2 - {R_E}^2 - {R_{DN}}^2}{2 \cdot R_E \cdot R_{DN}}\right), \quad (3.17)$$

$$\beta_{RX} = \arcsin\left(\frac{42165^2 - 6371^2 - 38970^2}{2 \cdot 6371 \cdot 38970}\right) = 26{,}121 \text{ град}.$$

Ослабление плотности потока мощности в атмосфере в условиях чистого неба:

$$L_A = \frac{{F_{DN}}^{0.58} \cdot 0.023 + 0.006}{\sin \beta_{RX}}, \quad (3.18)$$

$$L_A = \frac{1500^{0.58} \cdot 0{,}023 + 0{,}006}{\sin 26{,}121} = 3{,}644 \text{ дБ}.$$

Определение параметров принимающей ЗССС:
Эквивалентная шумовая температура земной станции:

$$F_{ES} = (T_A + T_{atm}) \cdot 10^{-0.1 \cdot L_{RXWG}} + T_{LNA}, \quad (3.19)$$

где L_{atmDN}=0,2 дБ, из таблицы 5 [11];
L_{RXWG}=1,2 дБ, из технического описания оборудования.

$$T_{LNA}=290\left(10^{0,1f} - 1\right)=119{,}636, \quad (3.20)$$

где f=1.5 – из технического описания аппаратуры.

$$T_A = 14 + \frac{180}{\beta_{RX}} = 408{,}679, \quad (3.21)$$

$$T_{atm} = 260(1 - 10^{-0,1 \cdot L_{atmDN}})=11{,}702, \quad (3.22)$$

$$F_{ES} = (408{,}679 + 11{,}702) \cdot 10^{-0,1 \cdot 1,2} + 119{,}636 = 438{,}528.$$

Определим мощность шума:

$$P_h = 10 \cdot \log(Fes \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 \cdot 1{,}32 \cdot 10^{-23}), \quad (3.23)$$

$$P_h = 10 \cdot \log(438{,}528 \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 \cdot 1{,}32 \cdot 10^{-23}) = -170{,}6 \text{ K}.$$

Коэффициент усиления антенны мобильного терминала должен быть не менее 1дБ.

$$G_{ARX} = 14 + 10 + LS_{EIRP} + L_{DN} + L_{atmDN} + L_{RXWG} + P_h - \text{ЭИИМ}, \quad (3.24)$$

$$G_{ARX} = 14 + 10 + 0{,}5 + 187{,}786 + 0{,}2 + 1{,}2 - 170{,}6 - 42 = 1{,}07 \text{ дБ}.$$

где L_{RX-TR}=0,2 дБ – потери из-за ошибок наведения;

LS_{EIRP}=0,5 дБ – контурные потери ЭИИМ в направлении на приемную ЗССС;
P_h - мощность шума.

3.2.2 Расчет линии вверх
Определим расстояние до спутника от передающей ЗССС:

$$R_{up} = 42645\sqrt{1 - 0{,}2954 \cos\varphi_{RXES} \cdot \cos(\lambda_{KA} - \lambda_{RXES})}=38970 \text{ км}, \quad (3.25)$$

$$L_{up}=32{,}45+20\cdot \log(Rup) + 20 \cdot \log(Fup), \quad (3.26)$$

$$L_{up}=32{,}45+20\cdot \log(38970) + 20 \cdot \log(1{,}6 \cdot 10^3)=188{,}64.$$

Угол места антенны передающей земной станции:

$$\beta_{RX} = \arcsin(\frac{42165^2-6371^2-38970^2}{2\cdot 6371\cdot 38970})= 26{,}121\text{град}.$$

Ослабление плотности потока мощности в атмосфере в условиях чистого неба:

$$L_A = \frac{{F_{up}}^{0.58}\cdot 0{,}023+0{,}006}{\sin\beta_{RX}}, \quad (3.27)$$

$$L_A = \frac{{1{,}6}^{0.58}\cdot 0{,}023+0{,}006}{\sin 26{,}121} = 3{,}852 \text{ дБ}.$$

где Fup=1,6 Ггц - центральная частота транспондера на линии вверх.

Эквивалентная шумовая температура земной станции:

$$F_{ES} = (T_A + T_{atm}) \cdot 10^{-0{,}1\cdot L_{RXWG}} + T_{LNA}, \quad (3.28)$$

где Latmup=0,2 дБ, из таблицы 5 [11];
L_{RXWG}=1,2 дБ, из технического описания оборудования.

$$T_{LNA}=290\left(10^{0{,}1f} - 1\right)=129{,}178, \quad (3.29)$$

где f=1.5 – из технического описания аппаратуры.

$$T_A = 14 + \frac{180}{\beta_{RX}}=408{,}679, \quad (3.30)$$

$$T_{atm} = 260(1 - 10^{-0{,}1\cdot L_{atmUP}})=11{,}702, \quad (3.31)$$

$$F_{ES} = (408{,}679 + 11{,}702) \cdot 10^{-0{,}1 \cdot 1{,}2} + 129{,}178 = 448{,}18.$$

Определим мощность шума:

$$P_h = 10 \cdot \log(Fes \cdot 1{,}6 \cdot 10^3 \cdot 1{,}32 \cdot 10^{-23}), \quad (3.32)$$

$$P_h = 10 \cdot \log(448{,}18 \cdot 1{,}6 \cdot 10^3 \cdot 1{,}32 \cdot 10^{-23}) = -149{,}27 \text{ K}.$$

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

Необходимо отметить, что если при расчете суммарного ослабления линии вверх учесть ослабление сигнала в осадках, то в условиях ясного неба излучаемая ЭИИМ транспондера окажется больше расчетной EIRPCAR на величину La. Это может привести к перегрузке транспондера по мощности.

Учитывая, что на передающей ЗССС должна быть предусмотрена регулировка мощности излучения в зависимости от ослабления сигнала в осадках, мы не будем учитывать ослабление La при расчете суммарного ослабления на линии вверх, а учтем его в виде необходимого запаса мощности передатчика.

Усиление антенны на передачу с МА на КС G_{ATX}=9 дБ.

Усиление антенны на прием $G_{ARX} = 28$ дБ.

Мощность передатчика мобильного терминала:

$$\mathrm{P_{prd}} = \mathrm{Lup} + \mathrm{La} - \mathrm{Garx} - \mathrm{Gatx} + \mathrm{LSeirp} + \mathrm{Lrxtr} + \mathrm{Lrxwg} + \mathrm{Latmup} + \mathrm{Ph}, \quad (3.33)$$

P_{prd}=188,64+3,852-28-9+0,5+0,2+1,2+0,2-149,27=8,279 дБ = 6,756 Вт.

где L_{RX-TR}=0,2 дБ – потери из-за ошибок наведения;

LS_{EIRP}=0,5 дБ – контурные потери ЭИИМ в направлении на приемную ЗССС;

P_h - мощность шума[11].

3.3 Энергетический расчет линий «вниз» и «вверх» для спутниковой системы связи

Параметры приемной станции ЗС:

- диапазон - 14/11 ГГц;
- киаметр антенны – 3 м;
- координаты – 71,46° в.д. 51,18° с.ш.;
- коэффициент шума приёмника – 2,5;
- эффективная полоса частот – 24 МГц;

– КПД АФТ - 0,9;
– шумовая температура антенны - 40 К.
Параметры бортового ретранслятора:
– диапазон частот - 14/11 ГГц;
– координаты - 98.5°в.д.;
– добротность КС на прием 10 дБ;
– КПД АФТ - 0,8;
– шумовая температура антенны - 40 К;
– ЭИИМ КС 52 дБ.
Параметры передающей станции:
– диапазон - 14/11 ГГц;
– диаметр антенны – 1 м;
– отношение $P_с/P_ш$ – 11 дБ;
– координаты - 76.95° в. д. 43.25°с. ш.;
– КПД АФТ - 0,8.
Дополнительное ослабление энергии радиоволн $L_{доп}$=2 дБ.
3.3.1 Участок: передающая ЗС→ИСЗ (КС)
Наклонная дальность между ЗС и КС:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos\psi}\ , \qquad (3.34)$$

где $\cos\psi = \cos\xi \cdot \cos\beta$;
ξ - широта ЗС;
β - разность по долготе между ЗС и КС.

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos 43.25° \cdot \cos(76.95 - 98.5)°} = 38140 \text{ км.}$$

Суммарная шумовая температура:

$$T_{\sum} = T_A + T_0 \cdot (\frac{1-\eta}{\eta}) + \frac{Tpr}{\eta}, \qquad (3.35)$$

где T_A – шумовая температура антенны КС;
η – КПД АФТ КС;
$T_{ПР}=T_0 \cdot (K_Ш-1)$;
где T_0=290°К;
$K_Ш$ – коэффициент шума приёмника КС.

$$T_{ПР}=290(2.5-1)=435 \text{ К},$$

$$T_{\sum} = 656.25 \text{ К}.$$

Ослабление сигнала на участке ЗС→КС.

$$Lo = \frac{16\pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2} = \frac{16 \cdot 3{,}14^2 \cdot (38140)^2 \cdot 10^6}{0.021^2} = 5{,}2 \cdot 10^{20}, \qquad (3.36)$$

$$Lo = 10 \cdot \log(5{,}2 \cdot 10^{20}) = 207.16 \text{ дБ}.$$

Коэффициент усиления земной станции

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2}, \qquad (3.37)$$

где D – диаметр антенны ЗС, м;

λ – длина волны для участка «вверх», м;

g=0,6…0,8 – коэффициент использования поверхности антенны.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{14 \cdot 10^9} = 0{,}021 \text{ м},$$

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot 0{,}8 \cdot 6^2}{0{,}021^2} = 1.742 \cdot 10^4,$$

$$G_{ЗС}=10 \cdot \lg 1.7 \cdot 10^4=42 \text{ дБ}.$$

Мощность передатчика земной станции

$$P_{ЗС} = \frac{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L\partial \cdot k \cdot \Delta f_{Ш}}{\lambda^2 \cdot G_{ЗС} \cdot Q_{КС} \cdot \eta_{ЗС} \cdot \eta_{КС}} \cdot aP, \qquad (3.38)$$

где $L_{доп}$=2 дБ (1,58);

$k=1{,}38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана;

$\Delta f_Ш$ – эффективная полоса частот, Гц;

$Q_{КС}$=10 дБ – добротность космической станции на прием.

$$P_{ЗС} = \frac{16 \cdot 3.14^2 \cdot 38140^2 \cdot 10^6 \cdot 1{,}58 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 36 \cdot 10^6}{0{,}021^2 \cdot 653100 \cdot 10 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}95} \cdot 3{,}98 \cdot 10^{1.1} = 24.941 \text{ Вт},$$

$P_{ЗС}$=13.96 дБ.

3.3.2 Расчет необходимого диаметра приемной антенны центральной земной станции

Наклонная дальность между ЗС и КС:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos\psi}\ , \qquad (3.39)$$

где $\cos\psi = \cos\xi \cdot \cos\beta$;

ξ - широта ЗС;

β - разность по долготе между ЗС и КС.

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos 43.25° \cdot \cos(76.95 - 98.5)°} = 38140 \text{ км}.$$

Суммарная шумовая температура

$$T_{\sum} = T_A + T_0 \cdot (\frac{1-\eta}{\eta}) + \frac{Tpr}{\eta}\ , \qquad (3.40)$$

где T_A – шумовая температура антенны ЗС;

η – КПД АФТ ЗС;

$T_{ПР}=T_0 \cdot (K_Ш-1)$;

где T_0=290°К;

$K_Ш$ – коэффициент шума приёмника ЗС;

$T_{ПР}$=290(2,5-1)=435 К.

$$T_{\sum} = 656.25 \text{ К}.$$

Ослабление сигнала на участке КС→ЗС:

$$Lo = \frac{16\pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2} = \frac{16 \cdot 3{,}14^2 \cdot (38140)^2 \cdot 10^6}{0.027^2} = 3.085 \cdot 10^{20},$$

$$Lo = 10 \cdot \log(5{,}2 \cdot 10^{20}) = 204.9 \text{ дБ}.$$

Коэффициент усиления земной станции

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2},$$

(3.41)

где D – диаметр антенны ЗС, м;

λ– длина волны для участка «вниз».

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{11 \cdot 10^9} = 0{,}027 \quad \text{м};$$

g=0,6…0,8 – коэффициент использования поверхности антенны.

Мощность передатчика космической станции:

$$P_{KC} = \frac{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L\partial \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{Ш}}{\lambda^2 \cdot G_{ЗС} \cdot G_{KC} \cdot \eta_{ЗС} \cdot \eta_{KC}} \cdot b\left(\frac{P_C}{P_Ш}\right)\Sigma, \qquad (3.42)$$

где d- расстояние между ЗС и КС, м,

$L_д$- дополнительное затухание на трассе, дБ ;

$k=1{,}38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана.

Из формулы 3.42 выразим коэффициент усиления антенны приемной ЗС и подставим в это выражение формулу 3.41.

$$G_{zs} = Lo \cdot Ld \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f \cdot \frac{Psh}{EEIP \cdot 0.8}, \qquad (3.43)$$

где Psh=12,59 Вт – мощность шума;

Δf – эффективная полоса частот, Гц.

$$G_{zs} = 3.085 \cdot 10^{20} \cdot 1.58 \cdot 656.25 \cdot 24 \cdot 10^6 \cdot \frac{12.59}{1.58 \cdot 10^5 \cdot 0.8} = 1.055 \cdot 10^4.$$

Из полученного выражения выразим диаметр антенны приемной земной станции D_A, м:

$$Da = \sqrt{Lo \cdot Ld \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f \cdot \frac{Psh}{EEIP \cdot 0.8} \cdot \frac{\lambda dn^2}{8}}, \qquad (3.44)$$

$$Da = \sqrt{3.085 \cdot 10^{20} \cdot 1.58 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 656.25 \cdot 24 \cdot 10^6 \cdot \frac{12.59}{1.58 \cdot 10^5 \cdot 0.8} \cdot \frac{0.027^2}{8}} = 0.99 \text{ м}.$$

Результаты расчета позволяют выбрать диаметр как передающей, так и приемной антенны центральной земной станции с запасом на замирания 1,2 м. Расчет проводился для диаметра антенны 1м, мощность передатчика ЗС 25

Вт или 14 дБ, что соответствует стандартным значениям мощностей средних спутниковых терминалов, использующих небольшие диаметры антенн.

3.3.4 Расчет характеристик мобильного терминала при работе с узкими лучами в диапазоне частот Ка.

Выполним расчет мощности сигнала в точке приема с учетом коэффициента усиления антенны приемной земной станции.

В качестве спутника ретранслятора выберем планируемый к запуску российский КА Экспресс АМ6.

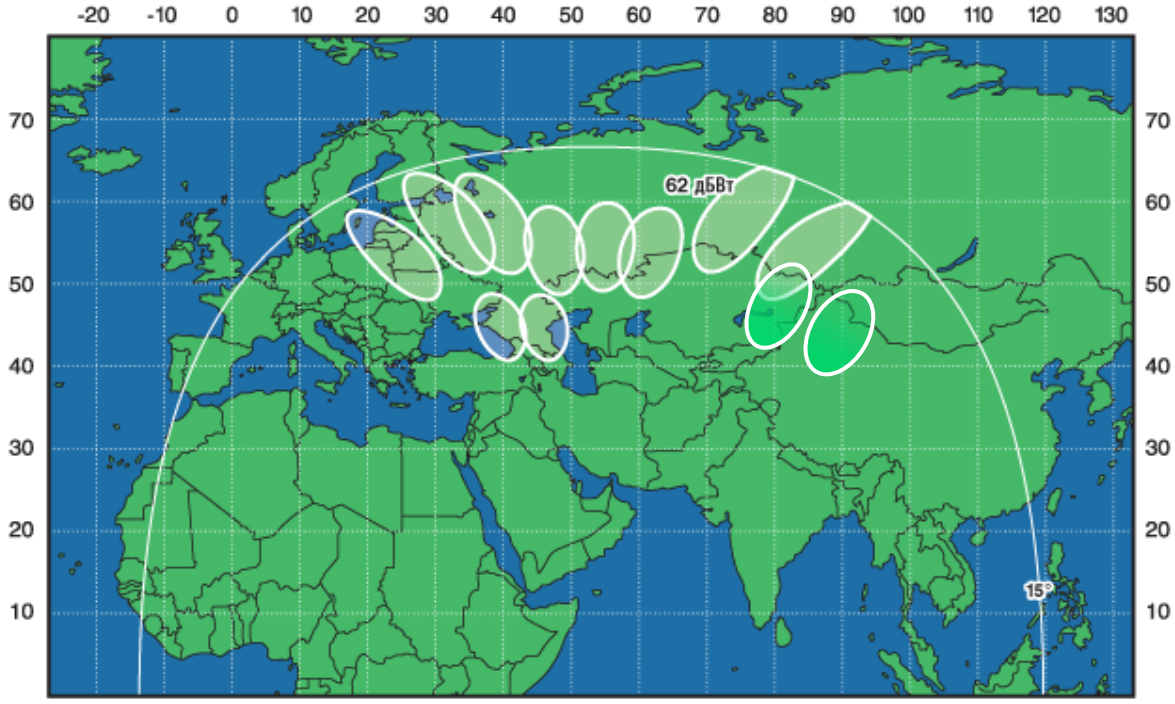

Рисунок 3.13 - Зона покрытия Экспресс АМ6 лучи Ка

Таблица 3.1 - 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 транспондеров Ка-диапазона 2 транспондера L-диапазона
Добротность на прием в луче	19 дБ
ЭИИМ	62 дБ
Отношение сигнал/шум	5 дБ

Рассчитаем требуемую мощность передатчика мобильного терминала при скорости передачи 2 Мбит/с.

$$P_{ЗС} = \frac{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L\partial \cdot k \cdot \Delta f_{Ш}}{\lambda^2 \cdot G_{ЗС} \cdot Q_{КС} \cdot \eta_{ЗС} \cdot \eta_{КС}} \cdot a \cdot P,$$

где $L_д$=1,58;

k=1,38·10^{-23} – постоянная Больцмана;

$\Delta f_ш$=2 ГГц – эффективная полоса частот, Гц;

$Q_{КС}$=19 дБ (79.43) – добротность космической станции на прием;

Gzs=39.81;

P=3.162 – отношение сигнал/шум.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{30 \cdot 10^9} = 0.01 \text{ м},$$

$$P_{ЗС} = \frac{16 \cdot 3.14^2 \cdot 38140^2 \cdot 10^6 \cdot 1{,}58 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 30 \cdot 10^6}{0{,}01^2 \cdot 39.81 \cdot 79.43 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}95} \cdot 3.162 \cdot 1 = 132.073 \text{ Вт},$$

$P_{ЗС}$=21.2 дБ.

Рассчитаем мощности сигнала в точке приема, выбрав усиление антенны приемного терминала 16дБ.

$$P_{min} = \frac{\text{ЭИИМ} \cdot G_{АЗС} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{L_0 \cdot L_g \cdot \frac{P_c}{P_ш}} = \frac{15.85 \cdot 10^6 \cdot 9.88 \cdot 10^4 \cdot 0.9 \cdot 0.95}{3.2 \cdot 10^{20} \cdot 1.58 \cdot 39.8} = 6.65 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}, \qquad (3.45)$$

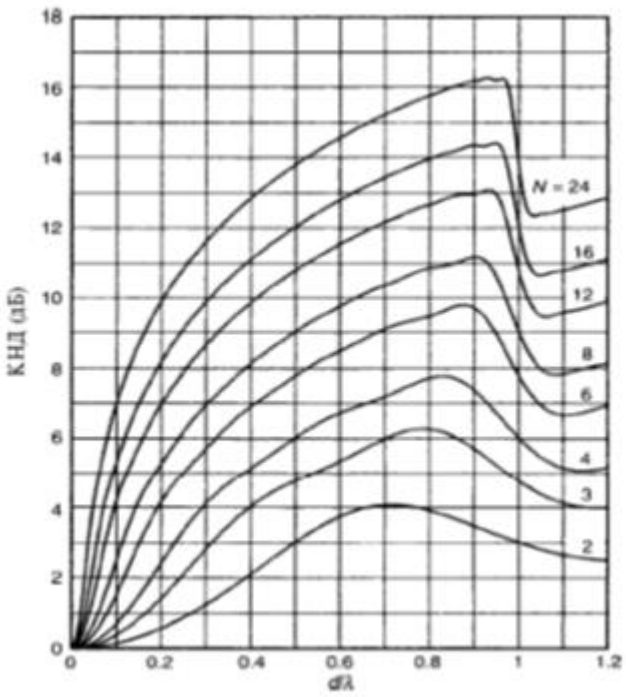

Рисунок 3.14 - Зависимость коэффициента усиления антенной решетки от количества излучателей[12]

Коэффициент усиления антенной решетки зависит от количества элементарных облучателей (рисунок 3.17).

$$P_{rez}(Gz) = 10\log(EEIP \cdot 10^{\frac{Gz}{10}} \cdot 0.8\frac{0.8}{L_0 \cdot L_d \cdot P_h}). \quad (3.46)$$

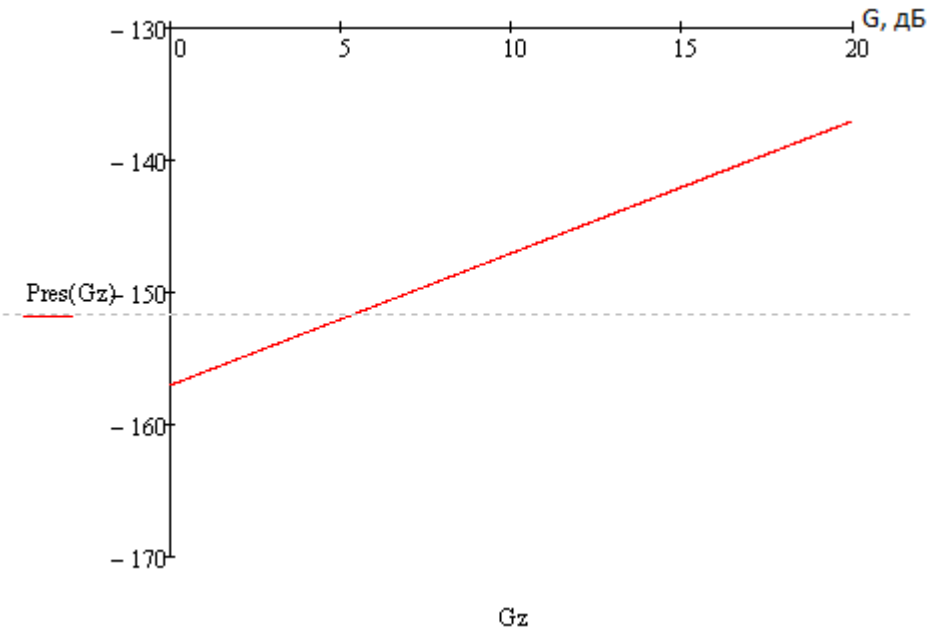

Рисунок 3.15 - Зависимость мощности сигнала от коэффициента усиления антенны приемной станции

Анализируя полученную зависимость и учитывая чувствительность выбираемого приемника необходимо использовать антенну с коэффициентом усиления не менее 16дБ. Возвращаясь к рисунку, 3.17 находим, что требуется антенная решетка с числом излучателей более 24.

4 Глава 4. Описание системы

Система состоит из трех ключевых элементов – космического сегмента, наземного сегмента и сегмента пользователя. Системный спутник расположен на геосинхронной орбите в позиции 98,5° в. д. 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 действия спутника – охватывает территорию РК.

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.

Система должна предоставлять следующие услуги:

– голосовая связь по сети GSM и по спутниковой сети связи;

– передача данных и факсимильных сообщений со скоростью: 2.4, 4.8, 9.6 кбит/сек;

– определение местоположения (GPS) и сохранение 10 положений GPS;

– интерфейс ПК для загрузки данных GPS и отслеживания местоположения;

– передача данных о местоположении GPS.

В здании, находится станция сопряжения (межсетевой шлюз) и система управления спутниковой группировкой. На станции установлено оборудование для соединения наземных сетей с абонентскими терминалами, через спутник.

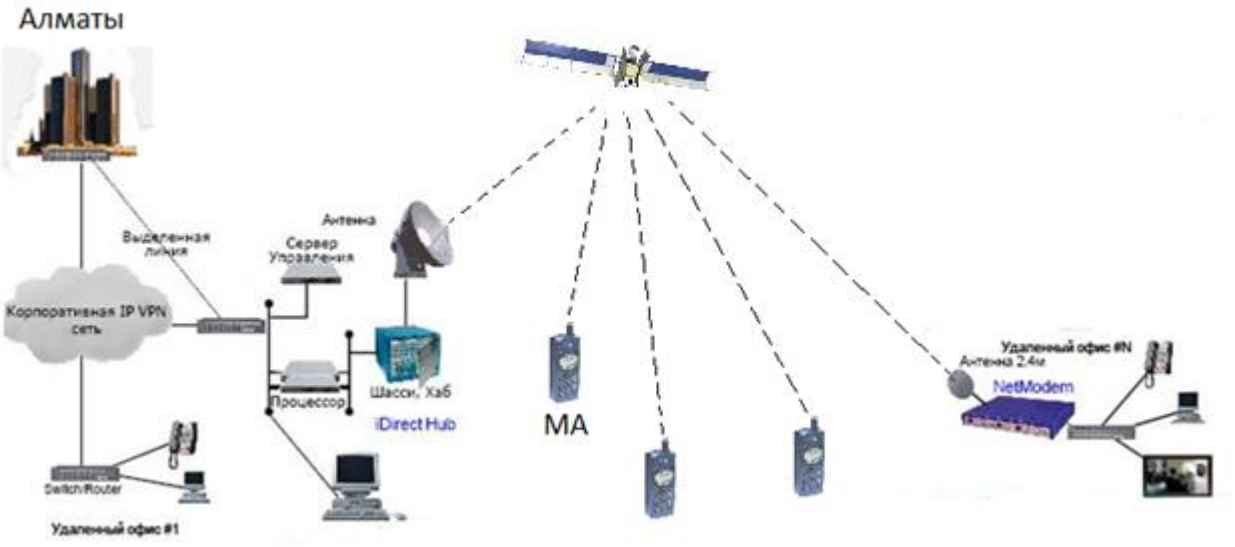

Рисунок 4.1 - Принцип работы системы

Характеристики приемо-передающей антенны центральной ЗС:

– шумовая температура - 48ºK;
– диаметр рефлектора - 1 м;
– электрический интерфейс - 12В постоянный ток 15А макс;
– вес антенны - 50 кг.

Рисунок 4.1 - Приемо-передающая антенна iNetVu

Оборудование работает с применением технологии iDirect. Все продукты iDirect основаны на принципе MF-TDMA – многочастотного множественного доступа с временным разделением, с выделением пропускной полосы по требованию и являются полноценной платформой для предоставления услуг IP.

ЦСЗС iDirect обладает встроенными функциями Автоматической Регулировки Мощности, что обеспечивает надежность и оптимальное использование энергетических ресурсов ИСЗ. ЦСЗС работает как «головной» маршрутизатор, принимая пакеты из сети MPLS, классифицируя и маркируя их в соответствующие VLAN-ы, настроенные на ЦСЗС. ЦСЗС iDirect 5IF поддерживает работу в режиме «звезда» и в полно связанном (MESH) режиме, когда терминалы серии 7000 передают информацию напрямую друг другу, минуя ЦСЗС[17].

Рисунок 4.2 - Оборудование iDirect 5IF

Таблица 4.1 - Техническая спецификация iDirect 5IF

Юниты	20
Группы юнитов	Минимальное количество: 4 Максимальное количество: 20
SatCom	5 TxIF: Type-F, 950 - 1700 MHz 5 RxIF: Type-F, 950 - 1700 MHz 20 - 1 L-Band Combiner / Divider, Tx 20 - 1 L-Band Combiner / Divider, Rx 5 независимых, 4 - 1 L-Band Combiner Tx 5 независимых, 4 - 1 L-Band Divider Rx
Интерфейсы управления	RJ45, Консольный порт NetModem RJ45,10/100 Ethernet, Резервный Ethernet-порт для Мониторинга / Конфигурации
Кабельное подключение	20 портов - RJ45, Коммутационная панель Cat5e
Габариты	Ш 48.26 см, Г 55.9 см, В 48.3 см
Масса	Пустое шасси: 34.1 кг

	Заполненное шасси: 46.7 кг
Рабочая температура	от 0 до 45 град. С
Электропитание	1 + 1 резервируемый блок питания с горячей заменой 90 - 264V~, 8A @ 110V, 47 - 63Hz
Вентилятор	N + 1 резервирование (N = 2) Горячая замена
Стандартизация	UL 1950, EN 60950, FCC Part 15 - Class B, EN 55022 - Class B, EN 300673, EN 61000-6-2, ISO 7779

В данной системе предлагаем использовать мобильный терминал Inmarsat bgan. bgan достаточно функционален и подойдет широкому кругу пользователей. Терминал имеет пыле- и влагозащищенный корпус и предназначен для работы в неблагоприятных условиях. Обеспечивает высокоскоростной доступ к корпоративным и VPN сетям.

Для настройки терминала, достаточно просто подключить его к переносному компьютеру по Bluetooth, либо USB или LAN кабелем.

Технические характеристики пользовательского терминала:

- скорость передачи данных: до 384/240 кбит/с;
- передача IP-потоков на скоростях 32, 64 кбит/с;
- поддержка следующих интерфейсов для подключения оборудования: mini-USB, Ethernet, Bluetooth, RJ11 (телефон, факс);
- подключение внешней антенны;
- встроенный GPS приемник (для технологических целей без отображения координат);
- индикация включения/выключения питания, состояния аккумулятора, уровня принимаемого сигнала, активного интерфейса;
- жидко-кристаллический дисплей, отображающий режимы работы терминала и служащий для настройки его параметров;
- напряжение питания: 15 В постоянного тока, 100-240 В переменного тока частотой 47-63 Гц;
- вес: 1.4 кг;
- габариты: 17 см x 21.7 см x 5.2 см.

Базовая комплектация:

- пользовательский терминал Thrane&Thrane Explorer 300;
- блок питания;
- литий-ионная аккумуляторная батарея, обеспечивающая время непрерывной работы 2,25 часа в режиме приема/передачи на скорости 128 гбит/с и 36 часов в режиме ожидания;
- сетевой кабель длиной 2 метра;

– интерфейсный USB кабель длиной 2 метра;
– руководство пользователя;
– компакт-диск с программным обеспечением.

Допускается эксплуатация терминала во внешней среде в следующих условиях:

– рабочая температура окружающей среды: от 0 С до +55 С;
– допустимая относительная влажность: 95% при 40 С;
– механическая вибрация: 200-2000 Гц, 0.3 м2/с3;
– ударная нагрузка: допускается падение с высоты 0.5 метра на бетонную поверхность без упаковки;
– пыле- и водонепроницаемость: в соответствии со стандартом IP-54[16].

Рисунок 4.3 – Мобильный терминал спутниковой связи

5 Глава 5. Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ условий труда

Анализ условий труда на предприятии проектирования системы спутниковой связи является необходимой мерой для обеспечения безопасности работников и сохранности оборудования.

В данной главе приводится расчет безопасности жизнедеятельности на предприятии связи. Произведём анализ условий труда в помещении

операторной прямоугольной формы, размерами: длина (L) = 10 метров, ширина (B) = 7 метров, высота (H) = 3 метра. Данное помещение рассчитано на 4 сидячих рабочих места (рисунок 5.1).

Система состоит из трех ключевых элементов – космического сегмента, наземного сегмента и сегмента пользователя. Системный спутник расположен на геосинхронной орбите в позиции 98,5° в. д. Проектный срок эксплуатации спутника - 12 лет. Огромный рефлектор L-диапазона, совмещенный с процессором цифровой обработки сигнала, образует активную фазированную решетку, создающую более 200 локальных лучей и одновременно обрабатывающую 13 750 телефонных разговоров. Система образования луча, позволяет менять конфигурацию лучей в зоне покрытия путем расширения или увеличения количества последних. Она также позволяет концентрировать лучи в районах максимальной активности, увеличивая пропускную емкость и направлять до 20% общей мощности на любой из лучей. Энергопитание спутника осуществляется при помощи солнечных батарей состоящих из двух "крыльев" по 4 панели галий-арсенидных ячеек в каждом. Батареи мощностью 13КВт заряжают аккумуляторы емкостью 250 А/часов. Длина солнечных панелей - 34,5 метра, ширина 17 метров. Вес спутника - 5250 кг.

В здании, находится станция сопряжения (межсетевой шлюз) и установлено оборудование для соединения наземных сетей с абонентскими терминалами, через спутник.

Характеристики приемо-передающей антенны:

– диаметр рефлектора - 0.66 м;
– электрический интерфейс - 12В постоянный ток 15А макс;
– вес антенны - 50 кг.

Выбранное оборудование работает с применением технологии iDirect. iDirect выпускает полное семейство продуктов, предназначенных для построения распределенных IP-сетей с использованием геостационарных Искусственных Спутников Земли (ИЗС). Все продукты iDirect основаны на принципе MF-TDMA – многочастотного множественного доступа с временным разделением, с выделением пропускной полосы по требованию и являются полноценной платформой для предоставления услуг IP. Стойки, схематически показанные на рисунке 5.1, содержат специальное оборудование (Центральная земная станция связи 5-IF (ЦСЗС), процессор протоколов 1U IBM, сервер системы управления iMonitor, модем серии 7000) для приема и передачи. ЦСЗС iDirect обладает встроенными функциями Автоматической Регулировки Мощности, что обеспечивает надежность и оптимальное использование энергетических ресурсов ИСЗ. ЦСЗС работает как «головной» маршрутизатор, принимая пакеты из сети MPLS, классифицируя и маркируя их в соответствующие VLAN-ы, настроенные на ЦСЗС. ЦСЗС iDirect 5-IF поддерживает работу в режиме «звезда» и в полно связанном (MESH) режиме, когда терминалы серии 7000 передают информацию напрямую друг другу, минуя ЦСЗС. Процессоры протоколов являются основной частью системы. В их роль входит сбор данных о требуемой полосе пропускания, формирование

расписания занятия интервалов и частот удаленными станциями, обеспечение качества обслуживания, управление линейными платами шасси и удаленными модемами, сбор и доставка статистики на систему управления и т.д. В качестве платформы для серверов NMS используются стандартные сервера 1U производства IBM под управлением ОС Linux.

Сервера системы управления являются централизованным хранилищем конфигураций и статистических данных всех сетей, обслуживаемых данной ЦСЗС. Модемы серии 7000 обладают всеми функциями серии 5300, повышенной производительностью процессора, встраиваемым в стойку корпусом и позиционируются в качестве устройств для мобильных систем связи. Принцип работы системы показан на рисунке 5.2.

Предполагается, что помещение рассчитано для 3 человек. В дневную смену в операторской комнате работают 3 человека: оператор по работе с клиентами, инженер системы передачи данных, начальник отдела. В ночную смену в операторской комнате работает сменный оператор центра управления сетью. В другой комнате находится только оборудование iDirect 5IF.

Питание станции iDirect 5IF осуществляется постоянным напряжением 48 В, что по стандартам является опасным напряжением (свыше 25В). iDirect 5IF состоит из ряда стативов, которые выполняют различные функции.

Данный тип оборудования не является источником вредного излучения для человека, также оно не является источником повышенной пожарной опасности. Для защиты человека от поражения электрическим током, детали представляющие опасность, изолированы.

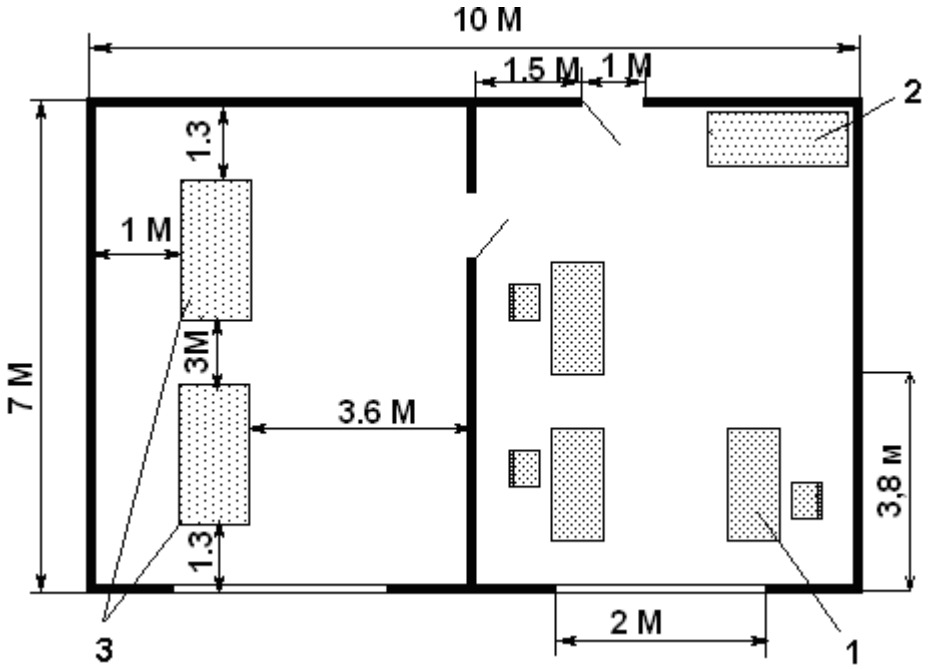

Рисунок 5.2 – План расположения технологического оборудования
1- рабочее место; 2 – шкаф для документации; 3 – стойки оборудования iDirect 5IF.

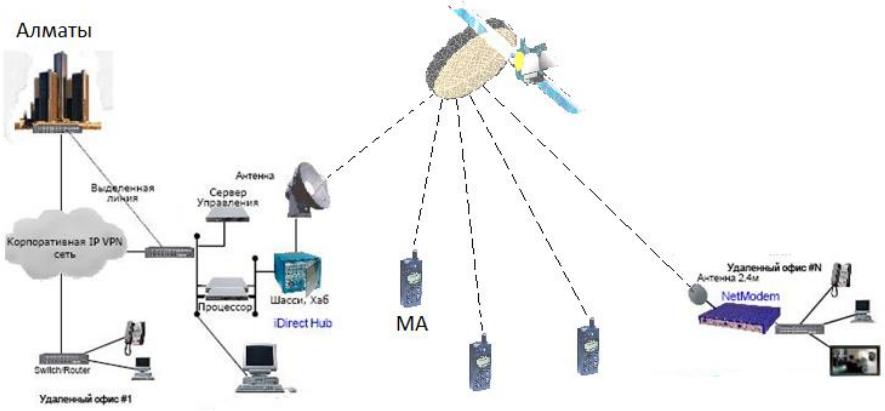

Рисунок 5.1 – Принцип работы системы

5.2 Расчет заземления оборудования станции iDirect 5IF

В качестве мер для обеспечения электробезопасности в помещении при эксплуатации оборудования, в случае прикосновения к металлической нетоковедущей части оборудования, оказавшейся под напряжением вследствие пробоя изоляции, заземляем оборудование станции.

В качестве естественного заземления используем металлическую технологическую конструкцию, частично погруженную в землю; ее расчетное сопротивление растеканию (с учетом сезонных изменений) R_E = 15 Ом. Заземлитель предполагается выполнить из вертикальных стержневых электродов длиной l_B = 5м, диаметром d = 12 мм, верхние концы которых соединяются между собой с помощью горизонтального электрода длиной 75м – стальные полосы сечением 4×40мм, уложенной в землю на глубине t = 0,8м. Удельное сопротивление земли равно: для вертикального электрода (длиной 5м) и для горизонтального электрода (длиной 75м) $\rho_Г$ = 140 Ом×м.

Требуемое сопротивление растеканию заземлителя для станции HUB SkyEdge не должно превышать $R_З$< 2,4 Ом:

$$R_З=125/I_З\,, \qquad (5.1)$$

где $I_З$ – расчетный ток замыкания на землю равен

$$I_З = U_З / R_З = 48 / 2{,}4=20А,$$

Определим требуемое сопротивление искусственного заземления:

$$R_U=R_E \times R_З/(R_E - R_З), \qquad (5.2)$$

$$R_U = 15\times2{,}4 / (15–2{,}4) =2{,}85 \text{ Ом}.$$

Тип заземлителя выбираем рядный, размещенный вдоль здания, где расположена станция. При этом вертикальные электроды размещаем на расстоянии а = 5м друг от друга.

Уточним параметры заземлителя путем проверочного расчета. Из предварительной схемы видно, что в принятом нами заземлителе суммарная.

Длина горизонтального электрода $L_Г \approx$ 75м., а количество вертикальных электродов n =15 шт. Вычисляем расчетное значение сопротивлений горизонтальных электродов (суммарное сопротивление) $R_Г$ и одного вертикального электрода по следующим формулам:

$$R_В = (\rho/ 2\times\pi\times l)\times[Ln\ 2l/d + 1/2\times Ln\ 4\times t + l/4\times t - l], \qquad (5.3)$$

где $l >> d$; $t_0 \geq 0{,}5$ м.

$$R_Г = (\rho/ 2\times\pi\times l)\times Ln\ l \times l / d \times t, \qquad (5.4)$$

где $l >> d$; $l >> 4\times t$, $d = 0{,}5 \times b$ для полосы шириной b.

Схемы заземлителей изображены на рисунке 5.3.

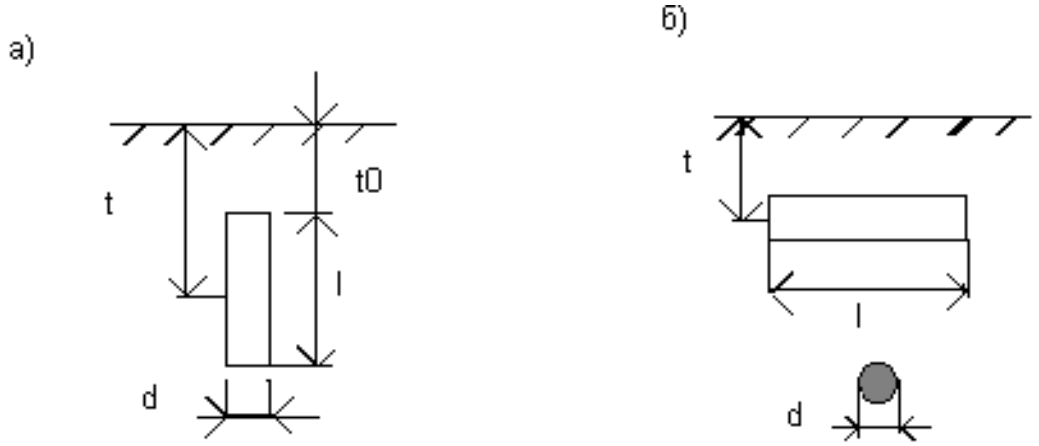

Рисунок 5.3 – Схема заземлителя

$$t = 5/2 + 0{,}8 = 3{,}3 \text{ м},$$

Тогда определяем $R_В$ по формуле (5.3):

$$R_В = (140/2*3{,}14*5)*[\ Ln\ 2*5/0{,}012 + 1/2*\ Ln\ 4*\ 3{,}3 + 5/4 * 3{,}3 - 5] = \\ = 31{,}6 \text{ Ом},$$

Вычисляем $R_Г$ по формуле (5.4):

$$R_Г = (140/\ 2\times3{,}14\times75)\times Ln\ 75 \times 75 / 0{,}5 \times 0{,}04\times0{,}8 = 3{,}8 \text{ Ом}.$$

Далее, имея в виду, что принятый заземлитель расположен в ряд и что n=15шт., а отношение a/l_B = 5/5 = 1, определяем по таблицам коэффициенты использования заземлителя:

$$\eta_B = 0{,}53,$$
$$\eta_Г = 0{,}5.$$

Вычисляем расчетное сопротивление группового заземлителя R, Ом, по формуле:

$$R_{ГР} = R_B * R_Г / R_B * \eta_B + R_{Г*} * \eta_B * \eta_Г, \qquad (5.5)$$

где R_B - сопротивление растеканию вертикального электродов, Ом;
$R_Г$ - сопротивление растеканию горизонтального электродов, Ом;
η_B - число вертикальных электродов.

$$R_{ГР} = 31{,}6 * 3{,}8 / 31{,}6 * 0{,}53 + 3{,}8 * 15 * 0{,}5 = 2{,}65 \text{ Ом}.$$

Это сопротивление меньше заданного (R и.тр = 2,85 Ом), что повышает безопасность.

Итак: проектируемый заземлитель располагается в один ряд, состоит из 15 вертикальных стержневых электродов длиной 5 м. И диаметром 12мм. И горизонтального электрода в виде стальной полосы длиной 75м. Сечением 4×40мм., заглубленных в землю на 0,8м. Заземляющий проводник крепится к аппаратуре надежным болтовым соединением, а к заземлителю сваркой.

Схема заземлителя показана на рисунке 5.4.

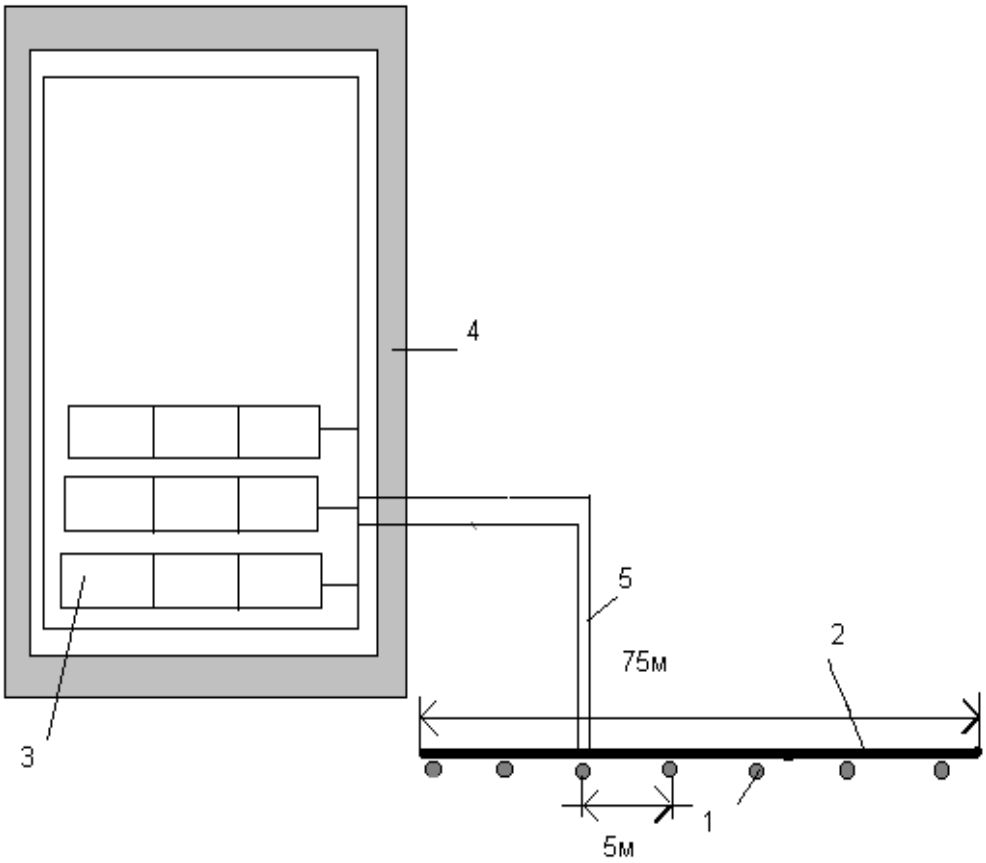

Рисунок 5.4 – 1 - вертикальный электрод; 2 - горизонтальный электрод; 3 - стативы оборудования; 4 - помещение; 5 - заземляющий провод.

5.3 Освещение

5.3.1 Естественное освещение

Естественное освещение по своему спектральному анализу 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 – сочетание верхнего и бокового естественного освещения . Естественное освещение характеризуется коэффициентом естественной освещенности КЕО. При боковом естественном освещении нормируется минимальное значение, при верхнем и комбинированном освещениях нормируется среднее значение КЕО.

Если по условиям технологического процесса возникает необходимость обеспечения различных уровней освещенности на разных участках помещения, допускается деление помещения на зоны с боковым освещением – зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами, и зоны с верхним освещением. В этом случае нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне проводится раздельно.

Расчет естественного освещения заключается в определении площади световых проемов. В нашем случае, т.е. при боковом освещении определяют

площадь световых проемов (окон), обеспечивающую нормированные значения КЕО. Необходимые для расчета значения коэффициентов m и c указаны в таблице 5.1.

Нормированные значения КЕО приводятся для третьего пояса светового климата, для остальных поясов светового климата значения КЕО определяют по формуле (5.6):

$$e_н^{1,2,3,4} = e_н^{3} * m * c\ , \qquad (5.6)$$

Таблица 5.1 Значения коэффициентов m и c

Пояс светового климата	m	С при световых проемах в наружных стенах зданий
4 50° северной широты и южнее (Алматы, Астана)	0,9	0,75

Нормы освещенности при искусственном и КЕО при естественном и совмещенном освещении приводятся в таблице 5.2 в соответствии со СНиП РК 2.04-05-2002.[14]

Таблица 5.2 - Нормы КЕО при естественном освещении

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	КЕО, % Естественное боковое освещение
Грубой точности	5	4	0,5

5.3.2 Расчет искусственного освещения

Общее искусственное освещение помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться газоразрядными источниками света, в которых баллон заполняется порами ртути и инертным газом, а на его внутреннюю поверхность наносится люминатор. Эти лампы имеют длительный срок службы (10000 ч), большую световую отдачу (750лм/Вт), малую яркость светящейся поверхности, лучший спектральный состав света.

Нормируемая минимальная освещенность рассчитывается по формуле:

$$E_{min} = F_л * n * \eta * z / S * K, \qquad (5.7)$$

где $F_л$ – световой поток одной лампы, лм;

n – число ламп в помещении;

η –коэффициент использования светового потока, т.е. доля;

S – площадь пола освещаемого помещения, кв.м;

Так как, в помещениях телефонных станций сравнительно малы выделения, загрязняющие светильники, то для люминесцентных ламп:

$$К = 1,5.$$

Коэффициент использования светового потока рассчитываем по формуле:

$$\varphi = a* B / H_р *(a+B), \qquad (5.8)$$

где $H_р$ – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью.

Люминесцентные светильники рекомендуются устанавливать на высоте 2,5--4 м от пола. Примем $H_р$ =2,5 м.

$$\varphi = 6* 4 / 2,5 *(6+4) =24/25 =0,96,$$

Для нашего помещения, при зрительном разряде работы нормируемая минимальная освещенность E_{min} на рабочих поверхностях должна быть не ниже 150 лк.

Из приведенных выше соображений, задавшись типом ламп, определим их число:

$$n= E_{min}*S*K/z*\eta*F_л=150*24*1,5/0,9*0,37*2120*2=$$
$$=5400\ 1412=3,82 \approx 4. \qquad (5.9)$$

Таким образом, для организации искусственного освещения необходимо 4 светильника ШОД с лампами ЛБ 2×40.

5.3.3 Расчет по удельной мощности

Рассчитаем систему освещения для данного помещения, по средней удельной мощности.

Определим мощность осветительной установки:

$$W = W_0 * S = 11* 24 = 264 \text{ Вт}, \qquad (5.10)$$

где W_0 = 11÷15 Вт/кв.м. - средняя удельная мощность светильника.

Необходимое количество светильников с лампами выбранной мощности равно:

$$n = W/ 2W_л = 264 / 2* 40 = 3,3 \approx 4.$$

Таким образом, для организации системы искусственного освещения нашего помещения устанавливаем четыре ряда светильников типа ШОД с лампами ЛД 2× 40.

Определяем

$$E_{расч}:E_{факт}=E_{min}\ 2120\ /2027=150*(2120\ /2027)=156{,}88\ лк > E_{min}=150.$$

5.4 Система автоматического пожаротушения

Автоматическое пожаротушение подразумевает под собой наличие средств предупреждения пожара, устройств обнаружения пожара, сигнализации и средств пожаротушения. Совокупность перечисленных средств, установленных специалистами-пожарниками, позволяет считать данный комплекс не иначе как системой автоматического пожаротушения. При этом роль человека сводится к проведению перманентных диагностических работ и замене средств пожаротушения по истечению сроков годности.

Разработанная система автоматического пожаротушения применена в помещении. В данном зале расположено электронное оборудование. Открытые электрические контакты отсутствуют. Опасность возгорания истекает только от попадания постороннего напряжения на платы, или же прохождение токов высоких номиналов по проводникам, что вызовет возгорание изоляции. Учли тот момент, что оборудование весьма дорогостоящее и критичное к прямому попаданию воды и соли, то автоматическая система пожаротушения использует соответствующие огнетушащие вещества и иметь высокий уровень надежности [13].

Применение системы автоматического пожаротушения (САП) основано на использовании установки газового пожаротушения, что позволит снизить материальные потери. САП газового пожаротушения использует следующие вещества:

- двуокись углерода;
- хладон 114В(2) / тетрофтордибромэтан;
- хладон 13В(1) / бромтрифторметан;
- комбинированный углекислотно-хладоновый состав;
- азот;
- аргон.

САП отвечает следующим требованиям:

- дистанционное и местное включение;
- выполнять функции пожарной сигнализации;
- соответствовать требованиям помещения, где установлена САП.

Тип САП и огнетушащие вещества выбраны с учётом пожарной опасности и физико-химических свойств, а также в зависимости от принадлежности помещения.

Наиболее часто используемые газовые САП в нашем случае, это:

- установки объёмного пожаротушения;
- установки локального пожаротушения по площади;
- установки локального пожаротушения по объёму.

При САП локального пожаротушения по объёму используют двуокись углерода и хладон 114В(2), а при САП локального пожаротушения по площади используют двуокись углерода.

Способ запуска САП электрический или пневмоэлектрический. Выбираем систему с электрическим пуском.

В составе САП предусмотрен полный резерв по оборудованию и запасу огнетушащих веществ[13].

5.5 Вывод

В данной главе был произведен расчет параметров необходимых для продуктивной, а главное безопасной работы на предприятии связи. Были рассчитаны следующие параметры:

- расчет заземления оборудования станции iDirect 5IF;
- противопожарная безопасность;
- естественное освещение;
- искусственное освещение;

Соблюдение норм безопасности жизнедеятельности на предприятии является необходимой мерой во имя сохранения собственного здоровья, здоровья окружающих, а также бесперебойного предоставления людям услуг.

6 Глава 6. Бизнес план

6.1 Резюме

Значение спутниковой связи для развития телекоммуникаций и средств передачи данных очень высоко. В первую очередь возникает необходимость наиболее скоростного развертывания и гибкого управления услугами, предоставляемыми оборудованием.

Кроме того, возникает проблема увеличения емкости и помехозащищенности канала. Если говорить о помехозащищенности, то пространственное разделение с легкостью трансформируется в пространственную фильтрацию, и нежелательные радиосигналы фильтруются с использованием информации о пространственном расположении помех.

Всем вышеперечисленным требованиям в полной мере соответствуют системы беспроводной связи на базе антенных решеток с возможностью цифрового диаграммообразования (ЦДО).

Передача информации посредством спутниковых систем стала ежедневной потребностью множества отечественных и зарубежных компаний, работающих в различных отраслях казахстанской экономики.

В данном дипломном проекте рассматривается исследование спутниковых систем, использующих антенны с цифровым

диаграммообразованием. На основе исследований предложена система, в которой абонентам предоставляются услуги спутниковой связи, осуществляемой мобильными терминалами.

В ходе составления бизнес-плана разрабатываемого проекта были проведены исследования рынка, которые в свою очередь показали, что в данном случае наиболее экономически целесообразно использовать именно каналы спутниковой связи. Это объясняется тем, что во многих аспектах (морские, воздушные, автомобильные и железнодорожные) не доступны сети сотовой связи, это дает возможность привлечения новых потенциальных абонентов, как физических так и юридических лиц. На сегодняшний день существует высокая потребность в предоставлении качественных услуг по предоставлению голосовой связи а также передачи данных, GPS и Internet. Поэтому можно с большой долей уверенности сказать, что прогноз окупаемости системы реален.

6.2 Особенность проекта

В ходе выполнения дипломной работы были проведены исследования, в результате чего были предложены мобильные спутниковые терминалы компактных размеров. Которые будут осуществлять голосовую связь по сети GSM и по спутниковой сети связи.

Одной из важнейших задач, решаемых разработанной сетью является расширение зоны покрытия сотовой связи компании, а также привлечения новых абонентов и как следствие увеличение доходов компании от продажи услуг.

6.3 Маркетинг

6.3.1 Организация спутниковой связи

По сути, рынок мобильной спутниковой связи на основе ЦДО в Казахстане только начинает формироваться. Если принять во внимание, что решение разрабатываемых спутниковых каналов для сотовой сети способно (благодаря своей гибкости и экономичности) значительно расширить круг потребителей этой услуги за счет привлечения компаний, а также то, что эта услуга будет постепенно вытеснять другие используемые ныне технологии.

Наряду с финансовыми оценками рынка весьма важными представляется достоверно оценить количество потенциальных потребителей этой услуги.

Практически в каждом сегменте казахстанской экономики (не только в сфере банковских услуг и серьевых отраслях, как может показаться на первый взгляд) есть как минимум несколько компаний, испытывающих потребность в спутниковой мультисервисной территориально распределенной мобильной связи.

Выделим нашу целевую группу потребителей на уже существующем рынке. То есть, дадим общее описание основной категории клиентов, для которой будет предназначен проект.

Наша основная категория потребителей – это военные, воздушные, автомобильные и железнодорожные отрасли, а так же население проживающее в местности, не доступной другим видам связи.

Предполагаемая мотивация развития системы – данный проект позволяет осуществлять одновременную передачу данных и голоса, доступ к сети Internet, GPS отслеживание в любой точке страны.

Предложенный проект спутниковой связи универсален и актуален не только для Казахстанского рынка, но для всего постсоветского пространства и давно применяется в Европе, Америке и т.п.

6.3.2 Конкурентоспособность

Потребители обычно воспринимают технологии, с помощью которых можно получить примерно одинаковый набор услуг, как альтернативные. Таким образом, средства спутниковой связи не существуют на ранке телекоммуникаций обособленно от других и конкурирует с рядом «наземных» технологий организации связи. Среди последних стоит упомянуть RadioEthernet, ВОЛС, РРЛ, GPRS и xDSL.

Основной аргумент в пользу спутниковых систем – возможность их использования в удаленных районах со сложным рельефом и жесткими климатическими условиями. К преимуществам относятся и покрытие больших территорий, простота развертывания и модернизации.

С другой стороны, при использовании RadioEthernet и РРЛ возникают свои сложности – необходимость прямой видимости между узлами, сложность процедуры получения частотных назначений. Для GPRS и xDSL характерны трудности при развертывании сетевой инфраструктуры в труднодоступных районах и областях с жесткими климатическими условиями. Наилучшую скорость передачи данных и надежность обеспечивает ВОЛС, но их внедрение требует высоких затрат не только в районах с жесткими климатическими условиями, но и на территориях с хорошо развитой инфраструктурой. В крупных городах процесс согласования, связанный с прокладкой новых кабельных коммуникаций, зачастую превосходит по сложности процесс получения разрешений на установку земной космической станции.

6.3.3 Продвижение услуг

Следует придерживаться следующей политики: осуществление рекламной деятельности, подчеркивая высокое качество связи, предоставляя такие услуги как:

– голосовая связь по сети GSM и по спутниковой сети связи;

– передача данных и факсимильных сообщений со скоростью: 2.4, 4.8, 9.6 кбит/сек;

– определение местоположения (GPS) и сохранение 10 положений GPS;

– интерфейс ПК для загрузки данных GPS и отслеживания местоположения;

– передача данных о местоположении GPS.

Цены на услуги связи будут дешевле, чем у конкурентов и при этом будет гарантированно соединение, включая часы пик, при высоком качестве связи. Успехом данной компании будет содействовать высокое сервисное обслуживание специалистами высокого класса по подключению, ремонту, настройке аппаратуры, т.е. в случае поломки оборудования приезд специалистов и замена неисправных модулей и восстановление соединения.

Намечено четыре основных этапа реализации проекта:

– создание телекоммуникационной сети связи, включающей в себя ЗС, взятый в аренду ствол бортового ретранслятора и абонентское оборудование;

– дальнейшее расширение потенциальных возможностей системы расширение телекоммуникационной сети, осуществление передачи через другие спутники. В осуществлении описанного плана возможны следующие трудности: невозможность сразу привлечь необходимое число абонентов, что сразу не позволит получить необходимое число прибыли. Низкая абонентская плата, что также будет отрицательно влиять на получение прибыли;

– длительный срок осуществления плана;

– развертка активной рекламной компании, поддержка высокого уровня квалификации обслуживающего персонала, а также предъявив высокие требования к исправности работы бортового ретранслятора на испытаниях.

6.3.4 Ценообразование

Именно от гибкости и уровня тарифов, но новые услуги напрямую будет зависеть спрос на них и, соответственно скорость окупаемости инвестиций в дорогостоящей технологии.

Внедрение сети основанной на технологии iDirect 5IF будет параллельно эксплуатироваться с существующими сотовыми сетями. Для начала необходимо проанализировать действующую тарифную политику и используемые модели ценообразования операторов телекоммуникационных услуг связи.

Формирование тарифов на телекоммуникационные услуги связи, прежде всего основываются на объективной оценке затрат на создание.

Пакет услуг телекоммуникационного оператора должен включает в себя предоставление услуги связи между удаленными станциями, а также услуги международной и междугородней связи. Вкладывание финансовых средств в данный проект, способствует развитию спутниковой связи в нашем государстве, в частности высокоскоростной связи за счет использования цифровой спутниковой системы связи.

Соответственно тарифы операторов телекоммуникационных услуг будут складываться из затрат на предоставления контента услуг провайдерами, доля их дохода в совокупной стоимости предоставления услуг может достигать 60-90%. В свою очередь сам оператор телекоммуникационных услуг должен разрабатывать и предоставлять контент, для получения больших доходов и окупаемости сети.

6.4 Объем капитальных вложений (КВ)

Установку и обслуживание будут осуществлять местные специалисты, работающие в данной компании. Поставку всего необходимого оборудования будет осуществлять зарубежный партнер, являющийся одним из крупнейших мировых производителей оборудования ЗС. Для реализации данного проекта потребуется следующее оборудование.

Таблица 6.1 - Капитальные вложения на приобретение оборудования

Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, млн. тг.	Количество оборудования, единиц	Сумма, млн. тг.
Передатчик ЗС	2,62	1	2,62
Приемник ЗС	0,655	1	0,655
Антенна ЗС iNetVu	0,655	1	0,655
Блок питания	0,262	1	0,262
Маршрутизатор	0,655	2	1,31
Удаленная станция SkyEdge (Gateway)	1,965	1	1,965
Удаленная станция SkyEdge	1,31	1	1,31
HUB iDirect SkyEdge	26,2	1	26,2
Стоимость всего оборудования			34,977

Капитальные вложения включают в себя:

$$КВ = КВ_{Оборуд} + КВ_{Транс} + КВ_{ДОиСМР} + КВ_{СМ}\,, \qquad (6.1)$$

где $КВ_{Оборуд}$ – стоимость приобретаемого оборудования для функционирования данной системы связи;

$КВ_{Транс.}$ – стоимость транспортных расходов по доставке оборудования клиенту составляет 2%;

$КВ_{ДОиСМР}$ – стоимость дополнительного оборудования;

$КВ_{СМ}$ – стоимость монтажных средств.

$$КВ_{Транс.} = 0{,}02 \cdot КВ_{Оборуд} = 0{,}02 \cdot 34977000 = 699540 \text{ тенге.}$$

Определим стоимость дополнительного оборудования $КВ_{ДОиСМР}$ (кабеля, изоляционная лента и т.д.) и монтажные работы, используя укрупненный метод и возьмем равным 3 % от стоимости оборудования.

$$КВ_{ДОиСМР} = 0{,}03 \cdot КВ_{Оборуд} = 0{,}03 \cdot 34977000 = 1049310 \text{ тенге,}$$

$$КВ_{СМ} = 0{,}03 \cdot К_{Обор} = 0{,}03 \cdot 34977000 = 1049310 \text{ тенге.}$$

Определим капитальные вложения по формуле (6.1).

$$КВ = 34977000 + 1049310 + 1049310 + 699540 = 37775160 \text{ тенге.}$$

Предполагаются следующие эксплуатационные расходы для обеспечения функционирования разработанной системы:

$$Эр = ФЗП + А_{О} + А_{РП} + З_{Эл.Эн} + Н_{Р} + А_{Р} + Н_{РЧ} + О_{СН}, \quad (6.2)$$

где Эр – эксплуатационные расходы на функционирование данной системы связи;
ФЗП – фонд заработной платы;
$А_{О}$ – амортизационные отчисления;
$А_{РП}$ – плата за аренду помещения;
$З_{Эл.Эн.}$ – расходы на электроэнергию;
$Н_{Р}$ – накладные расходы;
$А_{Р}$ – арендная стоимость ретранслятора;
$Н_{РЧ}$ – налог на использование спектра радиочастот;
$О_{СН}$ – отчисления на социальные нужды.

Таблица 6.2 - Эксплуатационные расходы (Эр) для выплаты заработной платы

Должность	Численность персонала, человек	Оклад, тыс. тг/мес	Сумма, тыс. тг/мес
Операторы ЭВМ	2	50	100
Электромонтер	1	42	42
Менеджеры по продвижению и реализации услуг	1	45	45
Техники-электронщики	3	51	153
Итого			340

Заработная плата одного рабочего будет производиться за счет выручки от предоставления услуг связи.

Определим фонд заработной платы:

$$ФЗП = ФОТ + З_{Доп}, \quad (6.3)$$

где ФОТ – фонд оплаты труда;
$З_{Доп}$ – дополнительная заработная плата.

Соответственно фонд оплаты труда за год составит:

ФОТ=340000*12=4080000 тенге.

Дополнительная заработная плата составит 20%:

Здоп=0,2*4080000=816000 тенге.

Тогда по формуле (11.3) ФЗП составит.

ФЗП=4080000+816000=4896000 тенге.

Социальный налог 11% от ФЗП, пенсионные отчисления на облагаются социальным налогом:

$О_{СН}$=0,11*0,9*ФЗП=0,11*0,9*4896000=484704 тенге.

Амортизационные отчисления на систему связи возьмем 15%.

$А_О$=На(%)*Квл/100%=15*37775160/100=5666274 тенге.

Аренда помещения, площадью 100 кв.м. по 1500 тг. за 1 кв.м в месяц:

$$A_{рп} = П_{ар} \cdot S \cdot T = 1500 \cdot 100 \cdot 12 = 1800000 \text{ тенге/год,} \quad (6.4)$$

Расходы на электроэнергию для производственных нужд включают в себя расходы электроэнергии на эксплуатацию оборудования и дополнительные расходы.

$$З_{Эл.эн} = З_{обор.} + З_{доп.нуж.}, \quad (6.5)$$

$$З_{обор} = W \cdot T \cdot S. \quad (6.6)$$

где W=15 кВт – потребляемая мощность;
T=8760 ч – время работы (за период в один год);
S – тариф за электроэнергию (1 кВтч=24,32 тг).

$$З_{обор} = 15 \cdot 8760 \cdot 24{,}32 = 3195648 \text{ тг/год.}$$

Затраты на дополнительные расходы принимаем по укрупненному показателю (в размере 5% от затрат на оборудование).

$$З_{доп.нуж} = 0{,}05 \cdot З_{обор.} = 0{,}05 \cdot 3195648 = 159782 \text{ тг/год,} \quad (6.7)$$

Тогда:

$$З_{эл.эн.} = 3195648 + 159782 = 3355430 \text{ тг/год.}$$

Арендная стоимость одного ствола бортового ретранслятора за 3 года составляет 30274100 тг., данная сумма выплачивается ежегодно хозяину спутника, т.е. организации New Skies Sattellites.

$$А_{рс} = 10091366 \text{ тг/год,}$$

Накладные расходы составят 7%:

$$Н_{р} = 0{,}7 \cdot ФЗП = 0{,}7 \cdot 4896000 = 3427200 \text{ тенге.} \quad (6.8)$$

Определим налог за использование радиочастотного спектра в бюджет Республики Казахстан.

Спутниковая связь с HUB-технологией: 250 минимальных расчетных показателей (МРП=1852 тг.). [18]

Соответственно платежи за использование спектра радиочастот составят:

$$Н_{Рч} = 1852 \cdot 250 = 463000 \text{ тенге,}$$

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы составят:

$$Э_{Р} = 4896000 + 5666274 + 1800000 + 3355430 + 3427200 +$$
$$+ 10091366 + 463000 + 484704 = 30183974 \text{ тенге.}$$

Таблица 6.3 - Эксплуатационные расходы

Наименования затрат	Сумма за период, тыс.тг	Удельный вес, %
Фонд заработной платы	4896	16,2
Амортизационные отчисления	5666,274	18,8
Плата за аренду помещения	1800	6
Расходы на электроэнергию	3355,430	11,1

Накладные расходы	3427,2	11,4
Арендная стоимость ретранслятора	10091,366	33,4
Налог на использование спектра радиочастот	463	1,5
Отчисления на социальные нужды	484,704	1,6
Итого:	30183,974	100

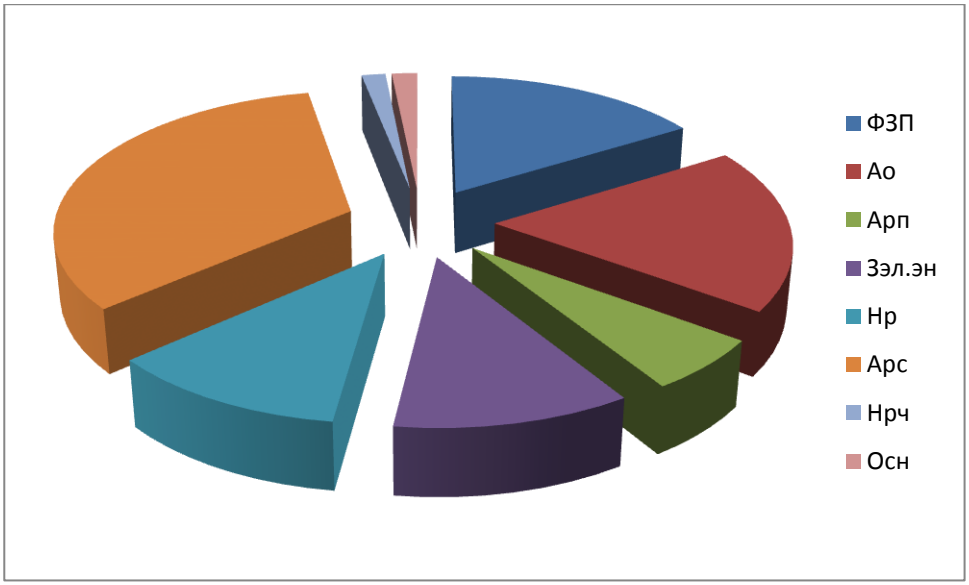

Рисунок 6.1 – Затраты на эксплуатационные расходы в процентном соотношении

6.5 Доходы компании

Если данная компания будет приобретать телекоммуникационные услуги у местного оператора связи, то доходы оператора состоят из разовых и постоянных платежей клиентов, за установку и подключение оборудования 38750 тг. (1 терминал) и за постоянное использование цифровых каналов связи по следующим тарифам:

– голосовой сервис – 45 тг/мин;

– передача данных – 15 тг/1Мбит.

Сумма затрат на приобретение телекоммуникационных услуг:

$$З_{АР} = \sum_{i} З_{АРi}, \qquad (6.9)$$

где i – голосовые услуги, передача данных.

Затраты на услуги голосового сервиса:

$$З_{АР голос} = n_{кан} \cdot n_{м.ч.} \cdot n_{ч.сут} \cdot n_{д.год} \cdot \overline{d}_{гол.усл.}, \qquad (6.10)$$

Где $n_{кан}$ - число каналов связи ($n_{кан}$=5);

$n_{м.ч.}$ - количество минут в часе ($n_{м.ч.}$=60 мин);

$n_{ч.сут}$ - количество часов в сутках ($n_{ч.сут}$=24 часа);

$n_{д.год}$ - количество дней в году ($n_{д.год}$=365 дней);

$\overline{d}_{гол.усл.}$ - стоимость одного звонка между абонентами удаленных станций внутри корпоративной сети ($\overline{d}_{гол.усл.}$=45 тг/мин).

$$З_{АР голос} = 5 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 45 = 118260000 \text{ тенге.}$$

Затраты на услуги передачи данных:

$$З_{АР Int} = n_{кан} \cdot n_{м.ч.} \cdot n_{ч.сут} \cdot n_{д.год} \cdot \overline{d}_{Int}, \qquad (6.11)$$

Где $n_{кан}$ - число каналов связи ($n_{кан}$=5);

$n_{м.ч.}$ - количество минут в часе ($n_{м.ч.}$=60 мин);

$n_{ч.сут}$ - количество часов в сутках ($n_{ч.сут}$=24 часа);

$n_{д.год}$ - количество дней в году ($n_{д.год}$=365 дней);

$\overline{d}_{Int}$ - стоимость одного звонка между абонентами удаленных станций внутри корпоративной сети ($\overline{d}_{Int}$=15 тг/1Мбит).

$$З_{АР Int} = 5 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 15 = 39420000 \text{ тенге.}$$

Суммарные затраты:

$$З_{АР} = З_{АР голос} + З_{АР Int}, \qquad (6.12)$$

Тогда:

$$З_{АР} = 11826000 + 39420000 = 51246000 \text{ тенге.}$$

Расчет экономического эффекта:

Экономия от аренды является прибыль для компании и определяется по формуле:

$$\Delta Э_{Пр} = З_{АР} - Э_{Р} = 51246000 - 30183974 = 21062026 \text{ тенге,} \qquad (6.13)$$

Данная экономия в затратах является прибылью предприятия, поэтому облагается налогом.

Корпоративный подоходный налог составляет 20% от балансной прибыли и определяется по формуле:

$$КНП = 0{,}2 \cdot \Delta Э_{Пр} = 0{,}2 \cdot 21062026 = 4212405 \text{ тенге,} \qquad (6.14)$$

Чистая прибыль определяется по формуле:

$$П_{Рчист} = \Delta Э_{Пр} - КНП = 0{,}8 \cdot \Delta Э_{Пр} \quad ,$$

$$П_{Рчист} = 0{,}8 \cdot 21062026 = 16849620 \text{ ттенге}$$

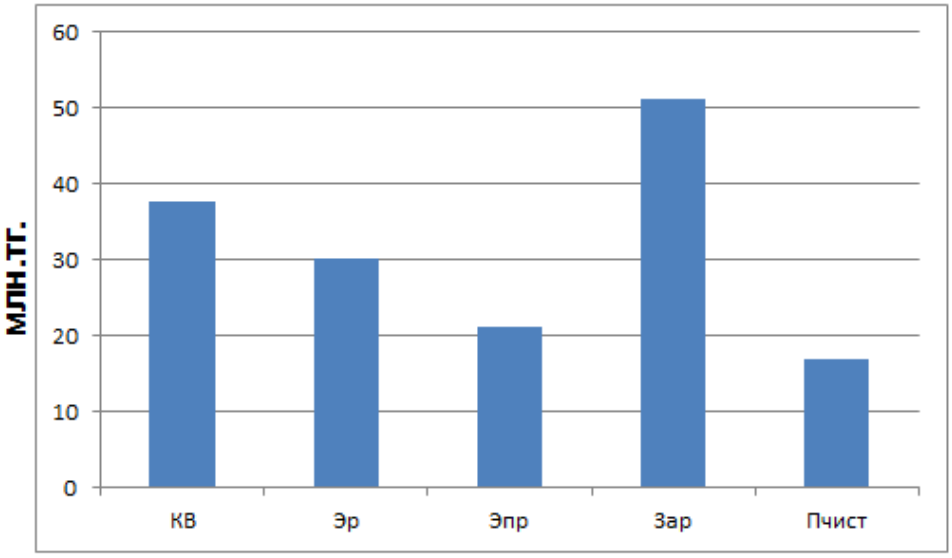

Рисунок 6.2 – Технико-экономические показатели проекта

Таблица 6.4 - Технико-экономические показатели проекта

Наименование	Стоимость, тыс.тг
Капитальные вложения	37775,16
Эксплуатационные расходы	30183,974
Экономия (прибыли) от аренды	21062,026
Затраты на аренду услуги связи	51246
Прибыль, остающаяся в распределении предприятия	16849,62
Итого	157116,78

Коэффициент общей – (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений - при строительстве нового объекта, предприятия рассчитываются по формуле:

$$Ер = Пчист/КВ, \quad (6.15)$$

$$Ер=16849620/37775160=0,45.$$

Срок окупаемости капитальных вложений – срок возвратности средств, является показателем, обратным коэффициенту общей (абсолютной) эффективности.

$$T = 1/Е_Р=2,2 \text{ года}, \quad (5.16)$$

Коэффициент дисконтирования:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t},$$

где Е=0,2 – норма дисконта;
t – номер шага расчета.

Накопленная величина дисконтированных доходов:

$$PV=Пчист\cdot \alpha_t,$$

$$PV_1 = \frac{16849620}{(1+0,2)^1} = 14041350 \text{ тенге},$$

$$PV_2 = \frac{16849620}{(1+0,2)^2} = 11701125 \text{ тенге},$$

$$PV_3 = \frac{16849620}{(1+0,2)^3} = 9750938 \text{ тенге},$$

$$PV_4 = \frac{16849620}{(1+0,2)^4} = 8125781 \text{ тенге},$$

$$PV_5 = \frac{16849620}{(1+0,2)^5} = 6771484 \text{ тенге}.$$

Общая накопленная величина дисконтированных доходов:

$$PV=\sum Pt/(1+E)^t,$$

$$PV=PV_1+PV_2+PV_3+PV_4=43619194 \text{ тенге}.$$

Текущая стоимость проекта:

$$NPV=PV-КВ,$$

$$NPV=43619194-37775160=5844034.$$

Индекс рентабельности инвестиций:

$$PI=PV/КВ=43619194/37775160=1,16,$$

Если PI>1, то проект следует принять[15].

Показатель DPP:

$$DPP=3+\frac{2281747}{16849620\cdot 0,48}=3,28 \text{ лет.}$$

6.6 Вывод

Разработанный проект является явным примером эффективного внедрения сложных систем. Срок окупаемости с учетом дисконтирования составляет 3,28 лет, нормативный срок 5 лет. Из этого следует проект принять. Полученный благодаря внедрению проекта системы спутниковой связи, экономический эффект заключается в увеличении объема и качества телекоммуникационных услуг связи, а также привлечения новых абонентов сотовой связи.

Заключение

В ходе выполнения работы было проведено исследование антенн с цифровым диаграммообразованием. Рассмотрены использующие их спутниковые системы связи. Проведен обзор методов цифрового диаграммообразования.

Так же в дипломном проекте выполнен сравнительный анализ диаграмм-направленности антенн для различного количества элементов и разных длин волн. Были сделаны соответствующие выводы: для получения узкого луча диаграммы направленности антенны, необходимо использовать решетку с количеством излучателей не менее 10, для получения многолучевой диаграммы направленности необходимо использовать антенную решетку с большим количеством излучателей более 10 и расстоянием между ними не более 0,5λ. Уровень боковых лепестков возрастает при увеличении расстояния между элементарными излучателями, поэтому не рекомендуется использовать антенны с расстоянием более 0,5λ.

Энергетический расчет спутниковой линии связи, проведен для нескольких частотных диапазонов. На основе расчетов было предложено необходимое оборудование с требуемыми техническими характеристиками для проектирования системы.

В разделе безопасность жизнедеятельности рассмотрены вопросы заземления оборудования и пожаробезопасности. Бизнес план подтвердил экономическую эффективность.

Список литературы

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

2.Быховский М.А. Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем. — М.: Горячая линия − Телеком, 2014. — 436 с.

3.Малишевский Е.В. Анализ возможности освоения Ка диапазона для развертывания в Казахстане спутниковых систем телекоммуникаций и создания отечественного производства наземной аппаратуры спутниковой связи/Малишевский Е.В., Хачикян В.С. //Современные космические технологии: матер. казахстанско-украинской науч. практ. конф. – Алматы, НЦ КИТ, 2008. 137-139 с.

4.Регламент радиосвязи. Международный союз электросвязи. — Женева, 2008, 428с.

5. Андрусевич Л.К. Антенны и распространение радиоволн.- Новосибирск: Издательство НГТУ, 2006г.

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

7. Вендик О.Г. Антенны с немеханическим движением луча: Введение в теорию. М.: Сов. радио, 1965. 360 с.

8.Слюсар В.И. Фазированная антенная решетка системы Thuraya. – Сети и телекоммуникации, 2006, № 5.

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

10.Слюсар В.И. Схемотехника цифровых антенных решеток: грани возможного. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2010, № 8.

11. С.Елеферов. Расчет линий спутниковой связи - Основные понятия и формулы / Дубна-2006.

12. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированной антенной решетке. – М.: Радиотехника. – 2010. 144с.

13.Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник. – М.: Радио и связь, 1989.

14.Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

15. Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Методические указания по выполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров для студентов всех форм обучения специальности 050719 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации – Алматы: АИЭС, - 2008.

16. http://www.satinfo.ru/inmarsat_bgan_equip_exp300.php

17.http://www.amtelcom.ru/prodazha/oborudovanie_idirect_technolodgies/tsentralnaya_zemnaya_stantsiya_sputnikovoy_svyazi_/
18.http://mojazarplata.kz/main/dohody-minimum/mesjachny-raschetny-pokazatelq

Приложение А

Диаграммы направленности антенны для различного количества элементов и расстояния между ними

В данном приложении представлены скриншоты построения в программе MathCAD диаграмм-направленности антенных решеток для длины воны λ = 0.015 м, что соответствует частоте 20 ГГц.

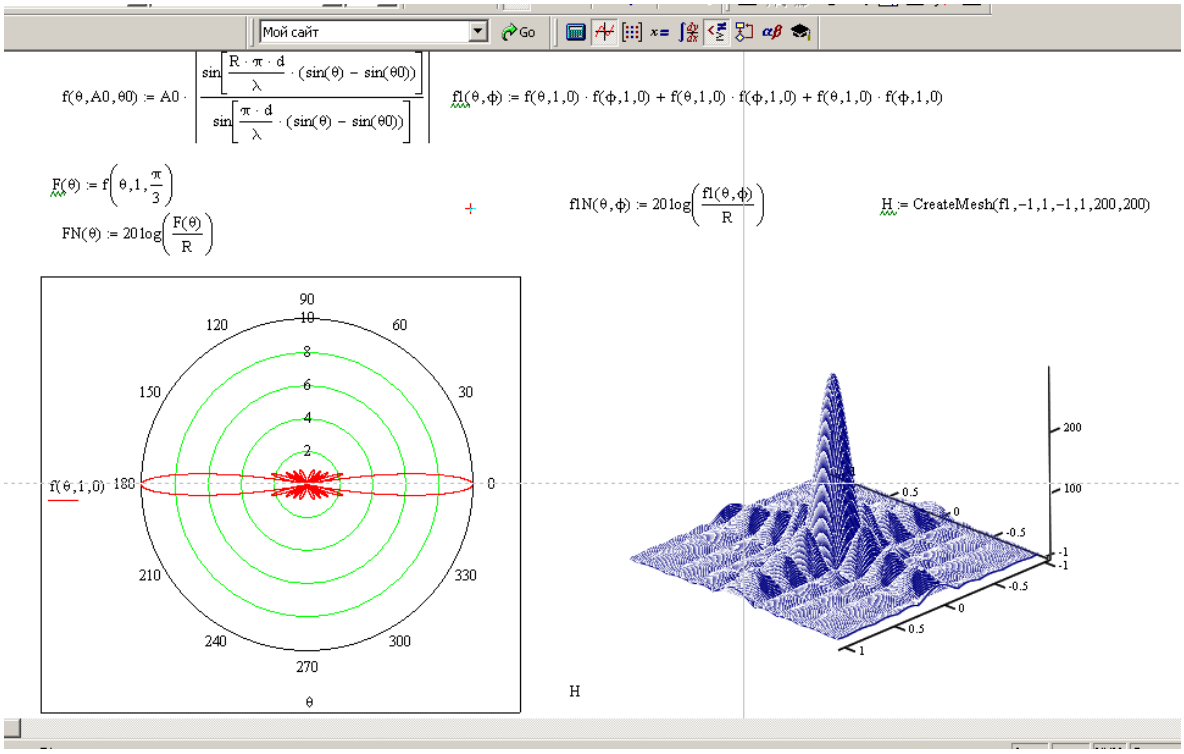

Рисунок А.1 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,5λ, число элементов 10

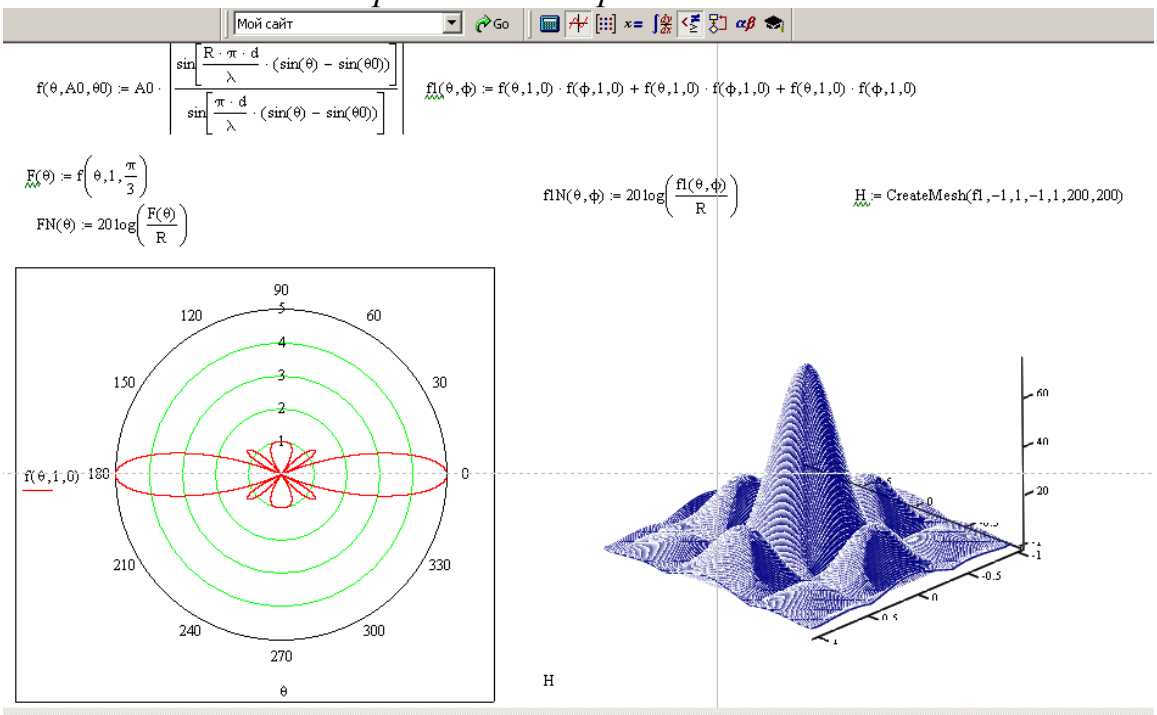

Рисунок А.2 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,5λ, число элементов 5

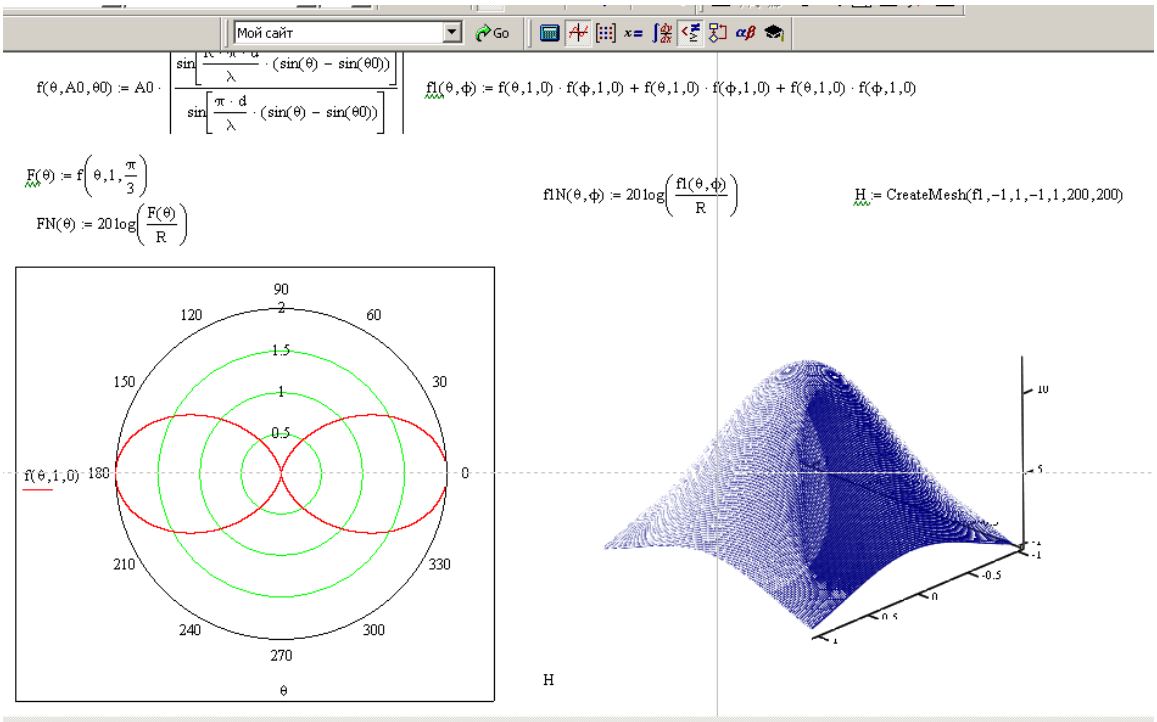

Рисунок А.3 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,5λ, число элементов 2

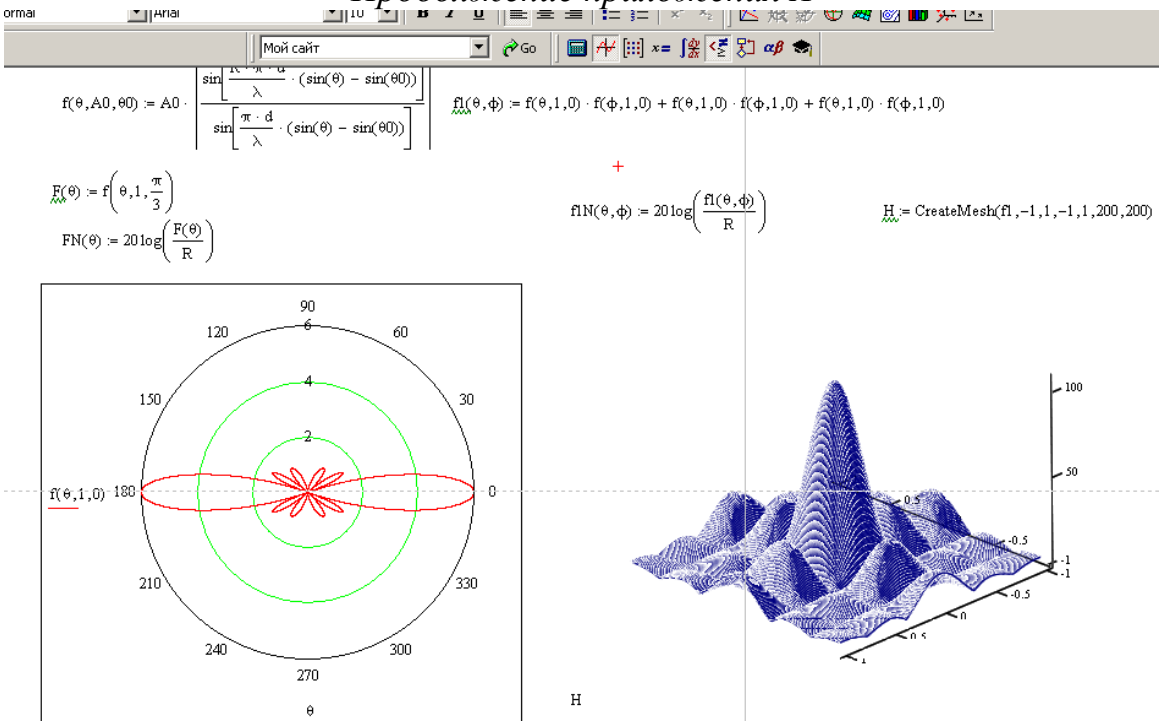

Рисунок А.4 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,5λ, число элементов 6

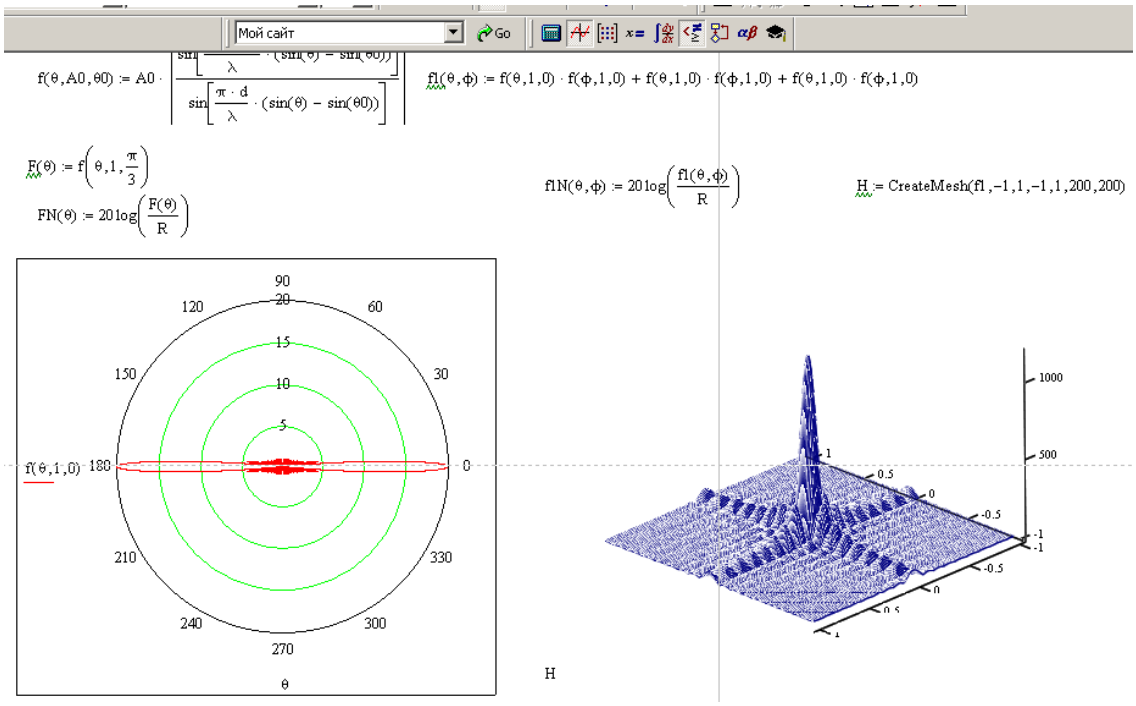

Рисунок А.5 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,5λ, число элементов 20

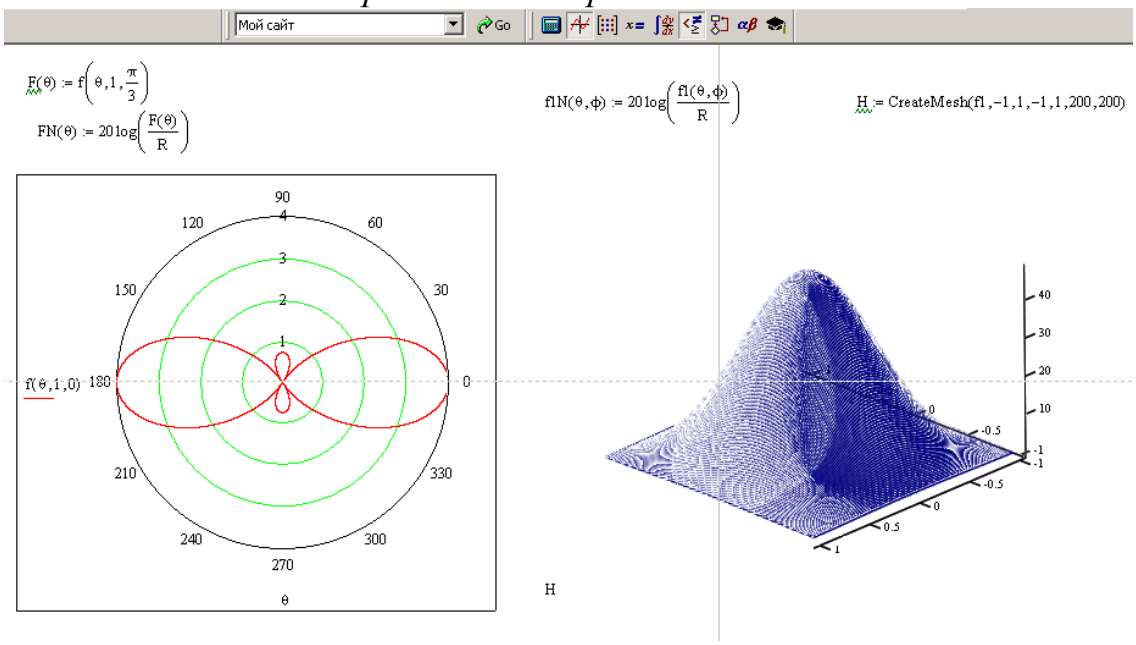

Рисунок А.6 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,3λ, число элементов 4

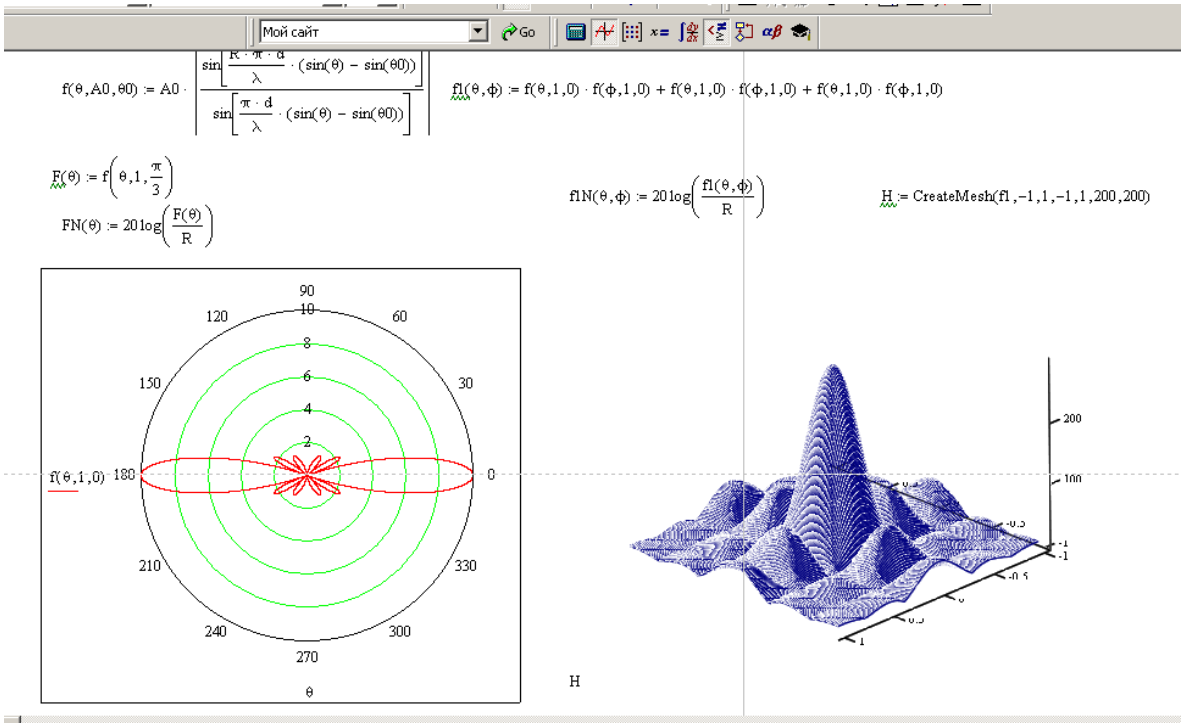

Рисунок А.7 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,3λ, число элементов 10

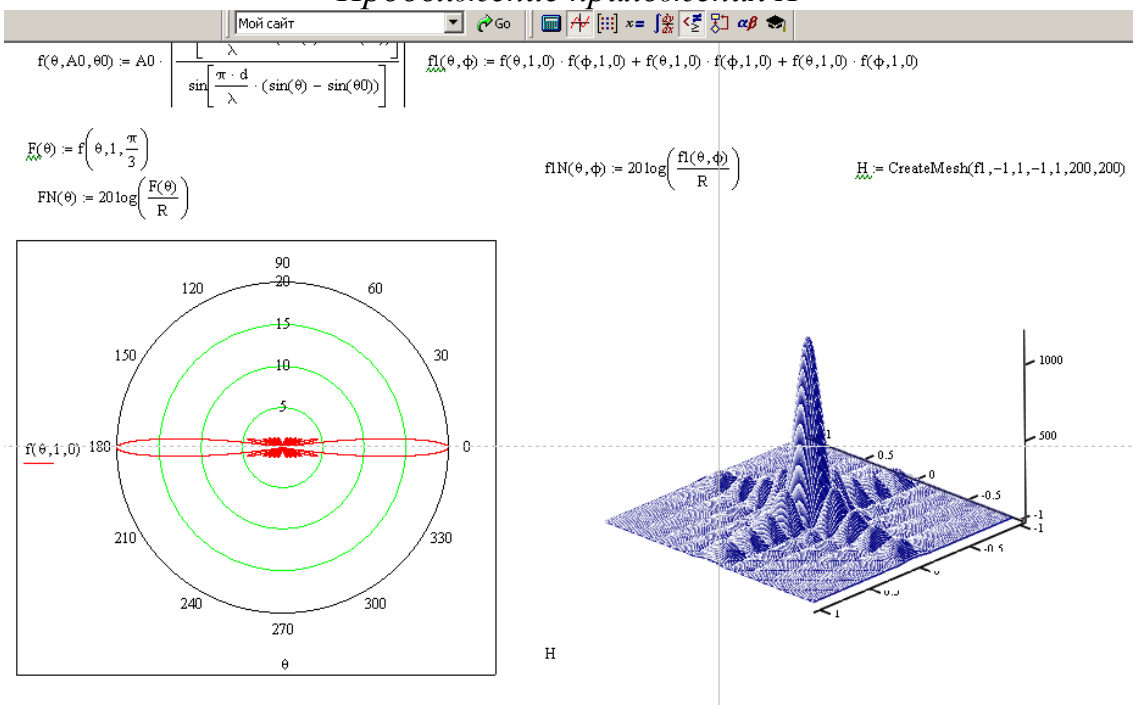

Рисунок А.8 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,8λ, число элементов 20

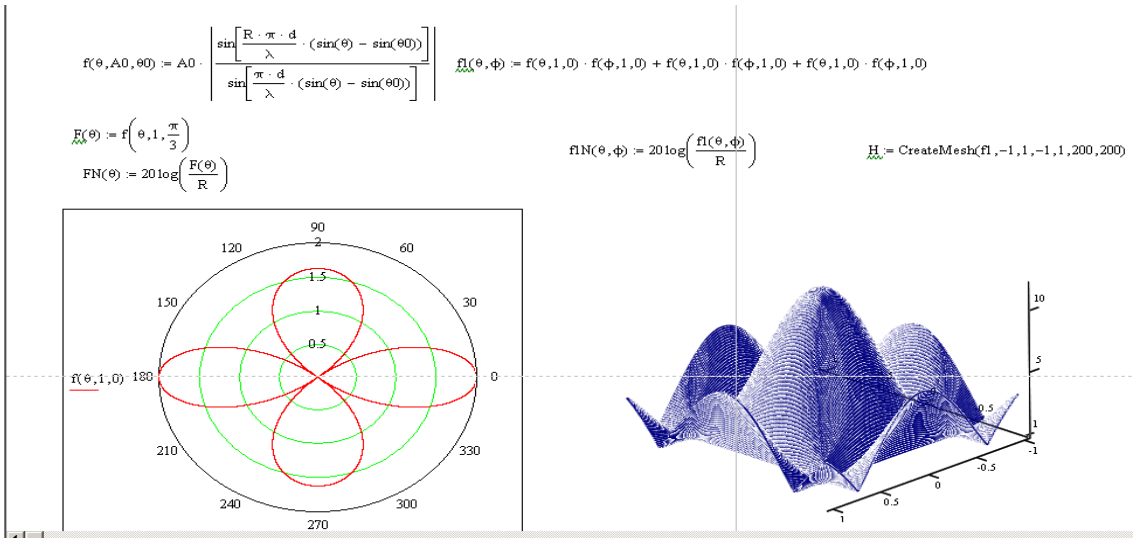

Рисунок А.9 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=0,8λ, число элементов 4

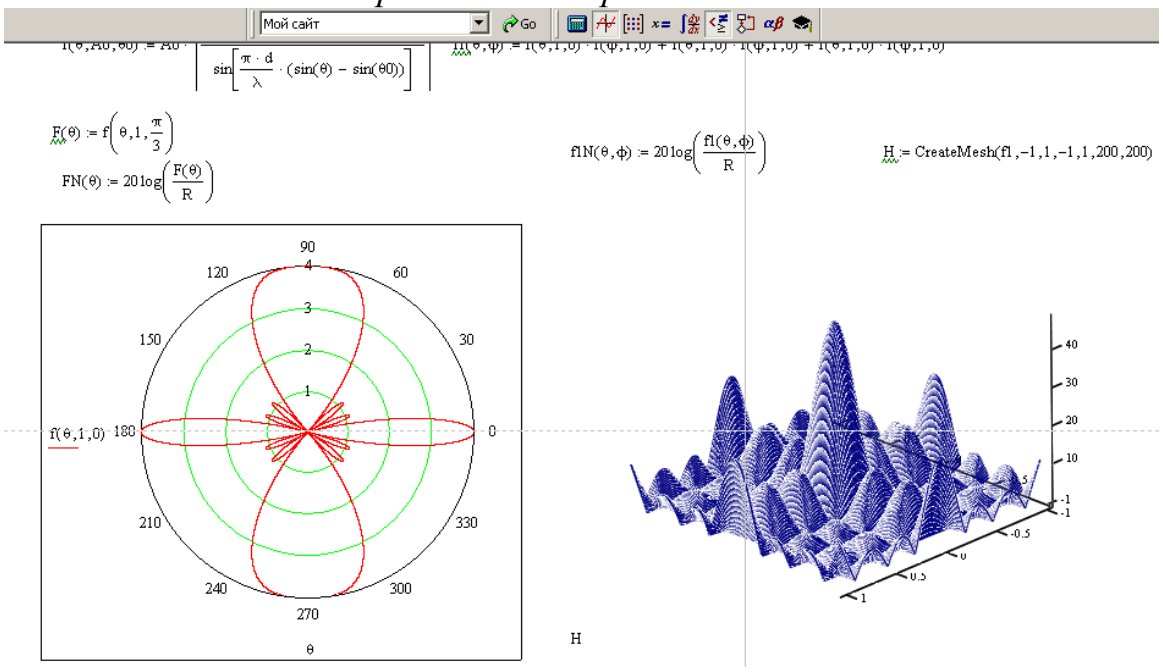

Рисунок А.10 – ДН антенной решетки. Расстояние между элементами d=λ, число элементов 20