МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование системы передачи данных на базе VSAT технологии для компании

Специальность 5В074600 «Космическая техника и технологии»

Выполнил (а) Аикимбай А. А. КССиН 10-1
(Фамилия и инициалы) группа

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

Консультанты:
по экономической части:
Бабич А. А., старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «20» мая 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Дюсебаев М. К., д.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «20» мая 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
Артюхин А. В., старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «20» мая 2014 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Кондратович А. П., старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «27» мая 2014 г.
(подпись)

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

Алматы 2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет «Теплоэнергетика»
Специальность 5В074600 «Космическая техника и технологии»
Кафедра «Телекоммуникационные системы»

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Аикимбай Айнур Арманкызы
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Проектирование системы передачи данных на базе VSAT технологии для компании

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.

Срок сдачи законченной работы «25» мая 2014 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

1) Компания «Жарык» г. Алматы (43°15′ с.ш. 76°54′ в.д.);
2) Морское судно (42°00′ с.ш. 51°00′ в.д.);
3) Требуемая пропускная способность не менее 8 Мб/с;
4) Диапазон частот : Ku (14208,33 МГц, 11158,33МГц) Ка (30000 МГц, 20000 МГц).

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

1) Обзор технологии VSAT для спутниковых систем связи;
2) Выбор космического сегмента для построения сети;
3) Энергетический расчет спутниковой линии связи для участка «вверх»;
4) Энергетический расчет спутниковой линии связи для участка «вниз»;
5) Схема системы передачи данных.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Виды орбит ИСЗ, структурная схема радиосвязи через ИСЗ, сравнение характеристик Ku- и Ka-диапазонов, зона покрытия искусственного спутника земли Intelsat 17, схема построения системы передачи данных

Рекомендуемая основная литература

1. Битнер В.И. Управление сетью электросвязи: Учебное пособие / СибГУТИ. - 2001. - 78с
2. Рерих А. ГКС нашел спутник // Comnews: интернет-газета, 2011.
3. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г.М. Кнорринга. - Л.: Энергия, 1976
4. Грузинов В.П., Грибов В.Д. Экономика предприятия, - 2-е изд., допол. - Москва, 2001. - 259с

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Экономическая часть	Бабич А. А.	17.03-20.05.14	
БЖД	Дюсебаев М. К.	17.03-20.05.14	
Вычислительная техника	Артюхин А. В.	12.05-20.05.14	
Спец. часть	Ползик Е. В.	25.05.2014	
Рецензент			

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Существующее положение в спутниковой системе передачи данных	31.03-05.04	
2	Развитие рынка VSAT-технологий в мире	05.04-10.04	
3	Особенности космического сегмента современных сетей VSAT	11.04-18.04	
4.	Компании в Казахстане использующие технологию VSAT	18.04-25.04	
5.	Энергетический расчет спутниковой линии	28.04-05.05	
6.	Энергетические характеристики радиолинии	06.05-12.05	
7.	Расчет шумов вызванных влиянием атмосферы, планет и тепловым излучением Земли	13.05-25.05.	

Дата выдачи задания «15» октября 2013 г.

Заведующий кафедрой _____ Шагиахметов Д. Р.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

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

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

Аннотация

В представленном дипломном проекте рассматривается вопрос проектирования спутниковой линии связи на базе VSAT технологии для компании ТОО «Жарык».

Проводится энергетический расчет на частотах существующего Ku-даипазона. На данный момент перспективным в спутниковых системах передачи данных является Ка-диапазон, произведем энергетический расчет линии связи на частотах Ка-диапазона, произведем сравнительный анализ энергетики линий. Осуществляется обзор оборудования для построения системы передачи данных с учетом технических требований.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» проводим анализ условий работы труда. Произведем расчет искусственного освещения и расчет микроклимата.

В разделе «Экономической части» рассчитаны стоимость разработки программного продукта для терминала VSAT и стоимость его реализации.

Аңдатпа

Ұсынған дипломдық жобада VSAT технологиясының негізінде байланыс спутник желінің жобалау сұрағы ЖШС "Жарык" компаниясы үшін қарастырылған.

Ku- даипазоның жиіліктерінде энергетикалық есеп саналады. Қазіргі уақытта деректер беріліс спутник жүйелерінде Ка-диапазон перспективалық болып табылады, сондықтаң Ка-диапазоның жиіліктерінде байланыс желінің энергетикалық есебі саналады және желі энергетикасының салыстырмалы анализын жасаймыз. Деректер беріліс жүйенің құрылысына үшін Жабдық Шолуы техникалық талаптармен жүзеге асарылады.

"Тіршілік әрекетінің қауіпсіздігі" тарауда еңбек шартының анализы жасалады. Жасанды жарық және микроклимат есебін санаймыз.

"Экономикалық бөлік" тарауында VSAT терминалы үшін бағдарламалық продукттің зерттемесінің және оның жүзеге асуының құны саналған.

Abstract

In the presented degree project the question of design of the satellite communication line on the basis of the VSAT technology for the Zharyk LLP company is considered.

Power calculation at the existing Ku-daipazon's frequencies is carried out. At present in satellite systems of data transmission the KA range is perspective, we will make power calculation of the communication line at frequencies of KA range, we will make the comparative analysis of power of lines. The review of the equipment for creation of system of data transmission taking into account technical requirements is carried out.

In the section "Health and safety" we carry out the analysis of operating conditions of work. We will make calculation of artificial lighting and microclimate calculation.

In the section "Economic part" we will calculate the cost of development of the software product for the VSAT terminal and the cost of its realization.

Содержание

Введение 9
1 Существующее положение в спутниковой системе передачи данных 11
1.1 Принципы построения спутниковых систем связи 10
1.2 Системы спутниковой связи VSAT 11
1.3 Земные станции спутниковой связи 16
1.3.1 Классификация земных станций 17
1.3.2 Назначение земной станции 18
1.3.3 Основные характеристики земной станции 19
1.3.4 Функции основных элементов земной станции 20
1.4 Недостатки и преимущества спутниковой связи 20
1.5 Развитие рынка VSAT-технологий в мире 22
1.6 Основные тенденции развития мирового рынка спутниковой связи 22
1.7 Переход из Ku- в Ка-диапазон 26
1.8 Особенности космического сегмента современных сетей VSAT 26
1.8.1 Сравнительная экономическая эффективность 27
1.8.2 Технические особенности 27
1.9 Пользователи VSAT 30
2 Компании в Казахстане использующие технологию VSAT 32
2.1 Информация о компании ТОО «Жарык» и ее деятельность 33
2.2 Решения для корпоративных клиентов 35
2.2.1 Режимы случайного множественного доступа 37
2.2.2 Режимы закрепленного множественного доступа 38
3 Энергетический расчет спутниковой линии 39
3.1 Расчет параметров установки антенн земных станций 39
3.2 Расчет затухания сигнала при распространении сигнала 41
3.3 Расчет дополнительного затухания энергии сигнала на линиях вверх и вниз 44
3.3.1 Расчет потерь сигнала в нормальной атмосфере 44
3.3.2 Расчет ослабления уровня сигнала, вызванного дождем 46
3.4 Энергетические характеристики радиолинии 52
3.5 Расчет необходимого диаметра антенн приемных земных станций 54
3.5.1 Расчет мощности шума приемной земной станции 54
3.6 Расчет шумов вызванных влиянием атмосферы, планет и тепловым излучением Земли 55
3.7 Расчет мощности в точке приема антенны 63
4 Безопасность жизнедеятельности 65
4.1 Анализ условий труда 65
4.1.1 Анализ помещения 65
4.2 Анализ системы освещения рабочего места 68
4.2.1 Расчет естественного освещения 68
4.2.2 Расчет искусственного освещения 70

4.3 Анализ микроклимата 72
5 Технико-экономическое обоснование 75
5.1 Цели и задачи 75
5.2 Трудовые ресурсы, используемые в работе 75
5.3 Оборудование, используемое в работе 75
5.4 Программное обеспечение, используемое в работе 76
5.5 Сроки реализации проекта 76
5.6 Затраты на разработку системы 77
5.6.1 Расчет фонда оплаты труда 78
5.6.2 Расчет затрат по социальному налогу 82
5.6.3 Расчет амортизационных отчислений 82
5.6.4 Расчет затрат на электроэнергию 83
5.6.5 Расчет накладных расходов 84
5.7 Цена реализации 85
Заключение 86
Список литературы 87
Приложение А Расчет азимута и угла места для земной станции 1 (г. Алматы) и земной станции 2 (морское судно) 88
Приложение В Расчет ослабления уровня сигнала, вызванного дождем для земной станции 2 (морское судно) 89

Введение

Одним из основных направлений развития глобальной информационной инфраструктуры сегодня являются спутниковые сети связи и вещания. Спутниковые сети связи обеспечивают качественное предоставление услуг передачи данных в труднодоступных и малонаселенных регионах.

Одна из основных систем спутниковой связи является система на основе технологии VSAT (VSAT - very small aperture terminal - терминалы с очень малой апертурой антенны). Сеть VSAT имеет топологию «звезда» с центральной станцией («хабом»), которая располагается в крупном городе и высокоскоростными каналами связи соединяется с глобальными сетями — интернет и телефонной сетью общего пользования. На «хабе» устанавливаются антенна большого размера (обычно от 4,5 до 9 м), мощный передатчик (до 400 Вт) и интеллектуальная система управления сетью. Благодаря этому на периферии сети можно использовать абонентские станции с маленькими антеннами (от 1,2 м), слабыми передатчиками (от 1,0 Вт) и относительно простыми и дешевыми абонентскими терминалами. Полоса частот, выделенная на спутнике для работы сети VSAT, совместно используется всеми абонентскими станциями с разделением по времени по принципу TDM/FTDMA. Следует отметить замечательную возможность сетей VSAT: имеющуюся в распоряжении оператора пропускную способность спутникового канала можно оперативно перераспределять между абонентскими станциями в зависимости от их потребностей. С одной стороны, максимально эффективно используется арендованный на спутнике частотный ресурс. С другой, характеристики спутникового канала можно адаптировать именно к услуге, необходимой клиенту. Для подключения к сети VSAT достаточно установить один абонентский терминал — на объекте клиента. Через спутник он будет соединен с центральной станцией спутниковой сети, через нее — с интернет и ТСОП, а через них — с любым другим объектом, устройством или системой.

Три основных свойства VSAT, которые определяют ее выбор клиентами:

1) Автономность. Техническая возможность подключения существует всегда. Связь через спутник можно организовать в любой географической точке, единственное необходимое условие — наличие электропитания.

2) Быстрота развертывания. Абонентский терминал имеет небольшой вес и габариты, монтируется и приводится в рабочее состояние за несколько часов. Не требуется проведения большого объема проектных и строительных работ, как для организации кабельной или радиорелейной линий связи.

3) Универсальность. Со стороны клиентского оборудования абонентский терминал имеет интерфейс компьютерной локальной сети Ethernet, через который передаются данные по интернет-протоколу — IP. Это самые распространенные в мире интерфейс и протокол, приспособленные для передачи любого вида трафика: данных, голоса, видео.

В данном дипломном проекте рассматривается вопрос проектирования системы передачи данных на базе VSAT технологии. Цель дипломного проекта Создание проекта системы передачи данных для компании ТОО «Жарык». Задачи:

- обзор технологий спутниковых систем передачи данных;
- выбор спутникового сегмента;
- энергетический расчет спутниковой линии связи.

1 Существующее положение в спутниковой системе передачи данных

1.1 Принципы построения спутниковых систем связи

23 апреля 1965 года был запущен на высокую эллиптическую орбиту первый советский спутник связи "Молния-1", который ознаменовал становление в СССР спутниковой радиосвязи. Почти одновременно в США был запущен на геостационарную орбиту первый спутник коммерческой связи Intelsat-1.

Была реализована идея резкого увеличения дальности радиосвязи благодаря размещению ретранслятора высоко над поверхностью Земли, что позволило обеспечить одновременную радиовидимость расположенных в разных точках обширной территории радиостанций. Преимуществами систем спутниковой связи (СС) являются большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи.

Конфигурация систем СС зависит от типа искусственного спутника Земли (ИСЗ), вида связи и параметров земных станций[1]. Для построения систем СС используются в основном три разновидности ИСЗ (рисунок 1.1) - на высокой эллиптической орбите (ВЭО), геостационарной орбите (ГСО) и низковысотной орбите (НВО). Каждый тип ИСЗ имеет свои преимущества и недостатки.

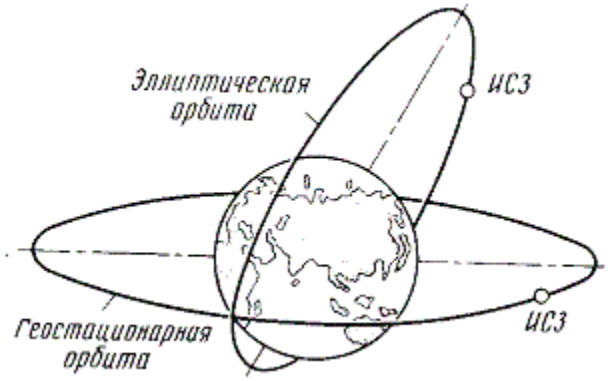


Рисунок 1.1 – Виды орбит ИСЗ

Уникальной орбитой является ГСО - круговая орбита с периодом обращения ИСЗ 24 часа, лежащая в плоскости экватора, с высотой 35875 км от поверхности Земли. Орбита синхронна с вращением Земли, поэтому спутник оказывается неподвижным относительно земной поверхности. Достоинства ГСО: зона обслуживания составляет около трети земной поверхности, трех спутников достаточно для почти глобальной связи, антенны земных станций практически не требуют систем слежения. Однако в северных широтах

спутник виден под малыми углами к горизонту и вовсе не виден в приполярных областях.

Плоскость низковысотных орбит наклонена к плоскости экватора (полярные и квазиполярные орбиты) с высотой порядка 200..2000 км над поверхностью Земли. Запуск легкого ИСЗ на низкую орбиту может быть осуществлен с помощью недорогих пусковых установок.

Принцип осуществления системы связи с использованием искусственных спутников Земли показан на рисунке 1.2. Здесь через *а* и *б* обозначены земные станции (ЗС), между которыми устанавливается связь, а прямые $аа'$ и $бб'$, касательные к поверхности Земли в точках а и б, являются линиями горизонта этих пунктов. Поэтому спутник ИСЗ, движущийся по орбите MN, может одновременно наблюдаться со станций *а* и *б* при движении его по участку орбиты $а'$ и $б'$. Следовательно, электромагнитные колебания, излучаемые антенной системой ЗС в точке *а* в направлении ИСЗ, могут быть приняты бортовой радиоаппаратурой спутника и после их усиления и преобразования по частоте направлены в сторону Земли, где будут приняты антенной ЗС в точке *б*. Антенны ЗС всегда должны быть ориентированы на ИСЗ. Следовательно, при движущихся ИСЗ антенны должны поворачиваться, осуществляя непрерывное "слежение" за перемещением спутника в пространстве[1].

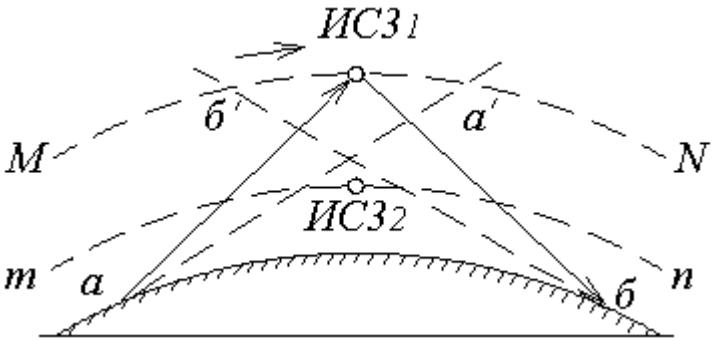


Рисунок 1.2 – Принцип радиосвязи через ИСЗ

Система радиосвязи при наличии бортовой аппаратуры называется системой с активной ретрансляцией сигнала или системой с активным спутником.

Рассмотрим структурную схему дуплексной связи между ЗС, размещенными в точках а и б при активной ретрансляции сигнала (рисунок 1.3). Здесь сообщение С1 подводится к модулятору М станции ЗСа, в результате чего осуществляется модуляция колебаний с несущей частотой f1. Эти колебания от передатчика П подводятся к антенне Аа1 и излучаются в сторону ИСЗ, где принимаются бортовой антенной А ретранслятора. Затем колебания с частотой f1 поступают на разделительный фильтр (РФ), усиливаются приемником Пр1, преобразуются к частоте f2, и поступают к передатчику П1. С выхода передатчика колебания с частотой f2 через РФ

подводятся к бортовой антенне А и излучаются в сторону Земли. Эти колебания принимаются антенной Аб2 станцией ЗСб, подводятся к приемнику (Пр) и детектору (Дет), на выходе которого выделяется сообщение С1. Передача от ЗСб к станции ЗСа сообщения С2 происходит по частоте f3 аналогичным образом, причем на бортовом ретрансляторе осуществляется преобразование колебаний с несущей частотой f3 в колебания с частотой f4.

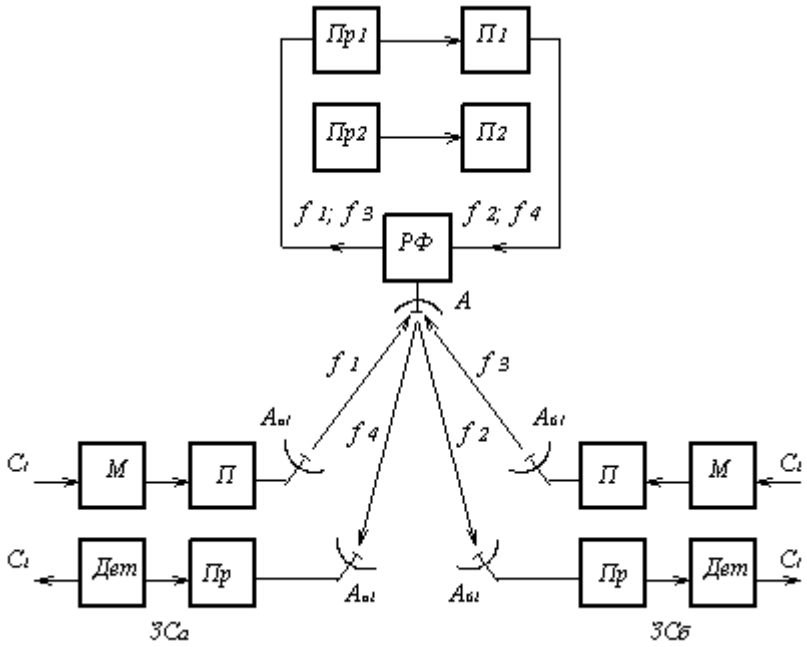


Рисунок 1.3 – Структурная схема радиосвязи через ИСЗ

В случае, когда спутник ИСЗ2 движется по орбите m–n (рисунок 1.2) с высотой настолько малой, что не может одновременно наблюдаться антеннами станций ЗСа и ЗСб (высота орбиты ниже точки пересечения линий горизонта $аа'$ и $бб'$), и потому сигнал, принимаемый бортовой аппаратурой на ИСЗ2 не может быть сразу передан на станцию б. Работа системы в этом случае может быть построена следующим образом: ИСЗ2, пролетая над ЗСа принимает сообщения которые после усиления подаются на ботовую аппаратуру памяти. Затем когда ИСЗ2 будет пролетать над ЗСб, включается в ботовой передатчик и происходит передача информации, принятой от ЗСа. Включение передатчика может осуществляться подачей специального командного сигнала, излучаемого ЗСб в момент появления ИСЗ в зоне видимости этой станции, или с помощью ботового программного устройства, учитывающего скорость движения спутника по орбите, ее высоту и расстояние между станциями. Такая система называется системой связи с памятью или системой с задержанной ретрансляцией. Система с активной ретрансляцией сигнала в зависимости от высоты орбиты и расстояния между станциями может быть выполнена как система с мгновенной (не задержанной)

ретрансляцией сигнала (система в реальном масштабе времени) и как система с задержанной ретрансляцией[2].

Особый интерес представляет геостационарная орбита – круговая орбита, находящаяся в экваториальной плоскости (i=0) и удаленная от поверхности Земли на расстоянии около 36000 км. В том случае, когда направление движения спутника по такой орбите совпадает с направлением вращения Земли, спутник будет неподвижным относительно наземного наблюдателя (геостационарный спутник). Эта особенность, а также то, что ИСЗ находится от Земли на большом удалении, приводит к следующим важным преимуществам связи через геостационарный спутник: во-первых, становятся возможными передача и прием сигналов с помощью неподвижных антенных систем (то есть более простых и дешевых, чем подвижные) и, во-вторых, осуществление круглосуточной непрерывной связи на территории, равной примерно трети земной поверхности. Однако через геостационарный ИСЗ затруднительно осуществлять связь с приполярными районами, расположенными на широтах выше 75º-78º, так как при этом существенно возрастают шумы на входе земных приемников.

1.2 Системы спутниковой связи VSAT

Системы VSAT (Very Small Aperture Terminal — терминал с очень маленькой апертурой) предоставляют услуги спутниковой связи клиентам, которым не требуется высокая пропускная способность канала. Скорость передачи данных для VSAT-терминала обычно не превышает 2048 кбит/с.

Слова «очень маленькая апертура» относятся к размерам антенн терминалов по сравнению с размерами более старых антенн магистральных систем связи. Сети VSAT работают в стандартных диапазонах спутниковой связи С и Ки, а в последнее время и в Ка -диапазоне. Использование Ки и Ка -диапазонов обеспечивает лучшую электромагнитную совместимость с наземными радиорелейными линиями и дает возможность увеличить ЭИИМ ретранслятора, что позволяет использовать антенны меньшего диаметра (0,8-1,8 м в Ки -диапазоне, 0,4-0,7 — в Ка). Технические характеристики систем VSAT регламентированы европейским стандартом EN 301 428 и подчинены требованиям пункта «n» решения ECC CEPT от 17 октября 2003 года, который ограничивает мощность передатчика VSAT величиной 2 Вт и эквивалентную изотропную излучаемую мощность (ЭИИМ) — 50 дБ*Вт. Основным недостатком диапазонов Ки и Ка является резкая зависимость затухания сигналов на трассе от состояния атмосферы, что приводит к снижению коэффициента готовности каналов и доступности сети. Этот недостаток может быть скомпенсирован, как было указано выше, увеличением энергетического потенциала радиолиний на 5-10 дБ, но при этом, естественно, увеличивается стоимость сети[3].

В состав типичной интерактивной сети VSAT входят: совокупность фиксированных необслуживаемых станций VSAT, размещенных

непосредственно у пользователей; ЦЗС; ГСР; центр управления сетью (ЦУС), обычно территориально совмещенный с ЦЗС.

VSAT включает в себя антенную систему, наружный {ODU — OutDoor Unit} и внутренний {IDU — InDoor Unit} блоки. Антенная система состоит из параболического отражателя, рупорного облучателя, поляризатора и дуплексера, обеспечивающего развязку передаваемого и принимаемого сигналов. В состав наружного блока входят малошумящий усилитель, обычно располагаемый в непосредственной близости от антенного облучателя, транзисторный усилитель мощности, преобразователи частоты. Наружный блок соединяется с внутренним посредством единственного коаксиального кабеля длиной до 100 метров. Внутренний блок обычно размещается в пользовательском офисе. Он содержит модем, цифровой процессор, блок управления и источник питания. Процессор обеспечивает интерфейс между периферийным терминальным оборудованием (телефон, факс, компьютер, оборудование для проведения видеоконференций) и VSAT. Он осуществляет согласование различных протоколов пользователей с внутренними протоколами сети и поддерживает используемый протокол множественного доступа к ретранслятору. Стоимость VSAT благодаря массовому производству основных элементов непрерывно снижается.

ЦЗС является узловым элементом сети и полностью контролирует ее функционирование. Как было сказано ранее, для обеспечения высокой надежности в аппаратуре ЦЗС широко используется резервирование на различных функциональных уровнях. ЦЗС содержит 3 основных блока: радиочастотный, модемный и интерфейсный. Радиочастотный блок включает в себя стандартную следящую антенную систему, усилители мощности, малошумящие усилители, преобразователи частоты.

Микропроцессорный интерфейсный блок выполняет следующие типовые функции: обеспечивает интерфейс с модемным блоком, главным компьютером и ЦУС, осуществляет согласование протоколов главного компьютера (mainframe) с внутренними протоколами сети, анализирует принимаемую по входящим каналам информацию и осуществляет положительное квитирование правильно принятых пакетов, поддерживает протокол множественного доступа к ГСР.

Управление сетью обычно осуществляется при помощи системы аппаратно-программных средств, обеспечивающей доступ операторов к общесетевым ресурсам, контроль, фиксацию и отображение общего текущего состояния сети в целом и ее аппаратных средств, измерение характеристик, интерфейс между аппаратурой операторов сети, ЦЗС и VSAT. Для организации группового потока (речь, данные, факс и т.д.) используются мультиплексоры, осуществляющие временное уплотнение сигналов, и концентраторы доступа, предназначенные для пакетной передачи информации. Эти устройства имеют соответствующие интерфейсы для подключения телефонных и цифровых каналов, потоков E1, ЛВС и т.д. по протоколам G.703, V.35, V.36, Ethernet и др.

Производители станций VSAT придерживаются модульного принципа их комплектации, обеспечивая широкую номенклатуру диаметров антенн и мощностей передатчиков, что позволяет удовлетворить разнообразным требованиям к пропускной способности каналов связи, диапазону частот, характеристикам приемо-передающей аппаратуры ретрансляторов, условиям эксплуатации.

При принятии решения об использовании VSAT-технологии ключевым вопросом является стоимость предоставляемых услуг связи, которая должна быть не выше того же набора информационных услуг, получаемых на основе аренды наземных каналов связи (если, конечно, вариант использования наземных каналов физически реализуем). Практика показывает, что даже для маломасштабных сетей использование VSAT-технологии в ряде случаев экономически предпочтительнее.

Стоимость сети VSAT складывается из следующих основных составляющих:

1) суммарной стоимости периферийных терминалов;
2) стоимости ЦЗС (при наличии таковой);
3) стоимости развертывания сети, включающей проведение проектно-строительных работ, доставку, монтаж и наладку оборудования;
4) стоимости аренды связных ресурсов ретранслятора;
5) стоимости технического обслуживания.

Стоимость VSAT колеблется в широких пределах в зависимости от размеров антенны, мощности передатчика и функциональных возможностей. Наблюдается тенденция снижения стоимости терминалов, что объясняется расширением масштабов производства и концепцией модульности их конструктивного исполнения.

1.3 Земные станции спутниковой связи

Вопросы выбора того или иного оборудования для создания оптимальной по экономическим затратам земной станции необходимо рассматривать с двух сторон. С точки зрения заказчика необходимо рассматривать оптимальную стоимость не как минимальную только по первоначальным затратам (они могут быть и не минимальными при выборе конфигурации ЗС), а минимальную стоимость за период эксплуатации, включая эксплуатационные расходы и оплату частотно-энергетического ресурса. В первую очередь это определяется парой «антенна – усилитель мощности». Все остальное оборудование является как бы константой, варьировать которой удается лишь в небольших пределах. При этом их влияние на изменение конечной стоимости станции – минимально (хотя в процентном отношении эта часть оборудования занимает значительную долю). Проблема выбора оборудования по большому счету сводится в настоящее время к умению интегратора ЗС правильно подобрать и использовать соответствующее оборудование. При этом характеристики

аналогичного оборудования примерно одинаковые и выбор того или иного производителя скорее осуществляется по второстепенным факторам: сложившейся практике, удобству работы с ним обслуживающего персонала (службы эксплуатации), наличия уже написанного и отработанного ПО, хорошей поддержке со стороны производителя и дилерской сети и т. д. При достаточно большом выборе для получения работоспособной, грамотно спроектированной ЗС необходимо проверить совместимость по техническим параметрам закупаемого оборудования, в обязательном порядке разработать диаграмму уровней станции (ДУ), включая передающий и приемный тракт, а при необходимости тракт шлейфового контроля. ДУ приемного тракта должна разрабатываться с учетом реальных значений принимаемых сигналов со спутника, а также иметь некоторый запас по динамического диапазону для возможного перехода в дальнейшем на работу через другие (более мощные или наоборот) спутники или стволы ретрансляторов. ДУ передающего тракта рассчитывается, исходя из необходимости обеспечить «раскачку» усилителя мощности до нужного уровня выходной мощности, компенсации потерь в кабелях и также должна иметь запас динамического диапазона не менее ±5 дБ для будущей модернизации, обеспечивая тем самым принцип постепенной последовательной модернизации ЗС.

1.3.1 Классификация земных станций

Классы ЗС для С- и Ku-диапазонов устанавливаются в соответствии с измеренной величиной энергетической добротности: 4 класса для С-диапазона (С1…С4) и 3 класса для Ku-диапазона (К1…К3), работающих в диапазоне частот 6/4, 14/11 и 18/12 ГГц [4]. В отдельные классы выделены VSAT-станции С-диапазона (3 класса) и Ku-диапазона (3 класса). Характерными признаками, по которым ЗС могут быть отнесены к VSAT [4], являются:

1) предназначение – прием и передача голоса, данных, факсимильных и других сообщений в соответствии с техническими условиями производителя ЗС;
2) постоянный автоматический или автоматизированный централизованный контроль и управление со стороны центральной станции сети;
3) как правило, являются необслуживаемыми (при необходимости допускается наличие обслуживающего персонала);
4) устанавливаются, как правило, непосредственно у пользователей услуг, и плотность их размещения на ограниченной территории может быть весьма высокой;
5) принадлежат к выделенным типам сетей и предназначены либо для информационного вещания (только приемные VSAT), либо для информационного обмена (приемопередающие VSAT);
6) имеют диаметр антенны, не превышающий 3,8 м для диапазонов 6/4 и 14/11 ГГц.

С точки зрения функциональной схемы все ЗС указанных классов одинаковы, поэтому для заказчика наиболее важной является классификация станций, отражающая в первую очередь потребительские свойства ЗС:

1) принадлежность к типу СССВ;
2) диапазон частот;
3) режим работы – симплексный (передача сообщений в одном направлении), дуплексный (одновременный прием и передача), полудуплексный (последовательный прием и передача);
4) тип передаваемой информации – телефония, Интернет, ТВ и др. Определяется входящей в состав ЗС каналообразующей аппаратурой (КОА);
5) пропускная способность;
6) обслуживание – обслуживаемые, автоматизированные, необслуживаемые.

1.3.2 Назначение земной станции

Рассматривая обобщенную схему канала связи, можно сформулировать основные задачи, решаемые ЗС, как составной части этого канала:

1) получение информации (сообщения) от источника сообщений;
2) преобразование сообщения в сигналы, являющиеся переносчиками информации;
3) линейная операция с сформированными сигналами для представления его в виде, удобном для передачи и приема через ИСЗ.

Основное функциональное назначение ЗС – организация и поддержание физического канала связи в соответствии с заданными параметрами. Структура основной функции ЗС, соответственно, распадается на следующие независимые этапы (функции):

1) основной признак этапа – полностью выполненная функция с однозначным конечным результатом;
2) отрицательный результат при выполнении работы текущего этапа автоматически возвращает процесс организации каналов на предыдущий этап;
3) каждому из указанных этапов соответствует собственный независимо организуемый модуль программного обеспечения (ПО).

Каждый из указанных этапов имеет собственную структуру (алгоритм) взаимно-независимых функций, отличающихся тем же свойством – полностью выполненной работы с однозначным результатом. Поэтому все отмеченные выше свойства для основных этапов организации физических каналов в полной мере относятся к алгоритмам составляющих их взаимно-независимых функций. Представленная структура обладает свойством «открытости», т. е. способностью модернизировать и наращивать ЗС как аппаратно, так и программно, в том числе в процессе эксплуатации, обеспечивая при этом совместимость и преемственность со старым парком оборудования. Разработка функциональных модулей программного обеспечения, поскольку они отображают логически-независимые функции с

полностью законченным результатом работы, может вестись для каждого модуля независимо (при обеспечении стандартизованного интерфейса между этими модулями). Это позволяет определить соответствующие этапы и разработать программу создания ПО ЗС. Приведенная структура «каноническая», т. е. справедлива для всех ЗС – от VSAT до телепортов – независимо от объема оборудования. Отсюда следует, что и ПО этой структуры «каноническое».

1.3.3 Основные характеристики земной станции

Для допуска к спутниковому ресурсу ЗС должна обеспечить выполнение обязательных требований по следующим параметрам:

1) энергетическая добротность G/T;
2) уровни боковых лепестков ДН антенны на прием и передачу;
3) кросс-поляризационная развязка антенны на прием и передачу;
4) ЭИИМ;
5) неточность поддержания ЭИИМ;
6) уровень продуктов интермодуляции передатчика;
7) уровень побочных излучений;
8) внеполосные излучения;
9) отклонение частоты сигнала.

Одна часть параметров нормируется для совместимости с другими системами связи, другая определяет потребительские свойства ЗС. К последней группе относятся параметры ЭИИМ и G/T, которыми совместно с экономическими показателями оперируют при проектировании СССВ. Именно они определяют пропускную способность ЗС, что, в конечном счете, и интересует пользователя. Добротность станции на прием достигает 42 дБ/К для самых больших используемых антенн (диаметром 32 м) и 15...32 дБ/К для ЗС многих национальных и ведомственных систем, в том числе на базе технологии VSAT. Показатель ЭИИМ обычно составляет 45...90 дБВт. Если говорить о ЗС С-диапазона, то значения ЭИИМ, имеющие практическую ценность, находятся в пределах 38…83 дБВт. Основным параметром радиолинии является заданная вероятность ошибки на бит информации РОШ. Аппаратная реализация демодуляторов и декодеров определяет соответствующую требуемую величину Eb/No. Отношение Eb/No на входе демодулятора формируется на выходе антенной системы, приемный тракт ЗС вносит дополнительные шумы (Кш).

Для ЗС, работающих в системах с поляризационным уплотнением, на первый план выходят:

1) коэффициент эллиптичности антенны КЭ на прием и передачу;
2) пространственная ориентация эллипса поляризации антенны.

Станция содержит приемопередающую антенну, приемный тракт, включающий малошумящий усилитель, преобразователи частоты «вниз» и приемную часть модема (демодулятор), тракт передачи в составе модулятора,

преобразователя частоты «вверх», усилителя мощности. Кроме того, в ЗС входят системы наведения, контроля и управления и дополнительное оборудование.

1.3.4 Функции основных элементов земной станции

Антенная система – преобразование электромагнитных волн в электрические токи и напряжения и обратное. Малошумящее входное устройство – прием и выделение слабого полезного сигнала на фоне помех (шума), т.е. формирование отношения сигнал/шум. Усилитель мощности – усиление полезного радиосигнала до требуемого уровня мощности. Преобразователь частоты – перенос спектра радиосигнала из одной частотной области в другую. Модем (модулятор/демодулятор) – преобразование цифрового сигнала, поступающего от оконечной аппаратуры пользователя (мультиплексоров, аппаратуры передачи данных и т. д.) в модулированный радиосигнал на промежуточной частоте (ПЧ) и обратное преобразование. Дополнительное оборудование многообразно (ИБП, делители/сумматоры, направленные ответвители и т. д.) и выполняет различные функции. Конструктивно элементы станции могут быть объединены. Так, трансивер – это объединенные в один конструктивный элемент преобразователи частоты «вверх» и «вниз», а иногда и МШУ и усилитель мощности. Широко применяемый в настоящее время блок BUC (Block Up Converter) является конструктивным объединением преобразователя частоты «вверх» и усилителя мощности. Отметим, однако, что никакое
конструктивное объединение не исключает приведенное распределение по основным функциональным блокам и ни одну из перечисленных функций, выполняемых элементами ЗС.

1.4 Недостатки и преимущества спутниковой связи

1. Слабая помехозащищённость.

Огромные расстояния между земными станциями и спутником являются причиной того, что отношение сигнал/шум на приёмнике очень невелико. Для того чтобы в этих условиях обеспечить приемлемую вероятность ошибки, приходится использовать большие антенны, малошумящие элементы и сложные помехоустойчивые коды. Особенно остро эта проблема стоит в системах подвижной связи, так как в них есть ограничение на размер антенны и, как правило, на мощность передатчика.

2. Влияние атмосферы.

На качество спутниковой связи оказывают сильное влияние эффекты в тропосфере и ионосфере.

3. Поглощение в тропосфере.

Степень поглощения сигнала атмосферой находится в зависимости от его частоты. Максимумы поглощения приходятся на 22,3 ГГц (резонанс водяных паров) и 60 ГГц (резонанс кислорода). В целом, поглощение

существенно сказывается на распространении сигналов с частотой выше 10 ГГц. Кроме поглощения, при распространении радиоволн в атмосфере присутствует эффект замирания, причиной которому является разница в коэффициентах преломления различных слоёв атмосферы.

4. Ионосферные эффекты

Эффекты в ионосфере обусловлены флуктуациями распределения свободных электронов. К ионосферным эффектам, влияющим на распространение радиоволн, относят мерцание, поглощение, задержку распространения, дисперсию, изменение частоты, вращение плоскости поляризации. Все эти эффекты ослабляются с увеличением частоты. Для сигналов с частотами, большими 10 ГГц, их влияние невелико.

Сигналы с относительно низкой частотой (L-диапазон и частично C-диапазон) страдают от ионосферного мерцания, возникающего из-за неоднородностей в ионосфере. Результатом этого мерцания является постоянно меняющаяся мощность сигнала.

5. Задержка распространения сигнала.

Проблема задержки распространения сигнала, так или иначе, затрагивает все спутниковые системы связи. Наибольшей задержкой обладают системы, использующие спутниковый ретранслятор на геостационарной орбите. В этом случае задержка, обусловленная конечностью скорости распространения радиоволн, составляет примерно 250 мс, а с учётом мультиплексирования, коммутации и задержек обработки сигнала общая задержка может составлять до 400 мс.

Задержка распространения наиболее нежелательна в приложениях реального времени, например, в телефонной связи. При этом, если время распространения сигнала по спутниковому каналу связи составляет 250 мс, разница во времени между репликами абонентов не может быть меньше 500 мс.

6. Влияние солнечной интерференции.

При приближении Солнца к оси спутника - наземная станция радиосигнал, принимаемый со спутника наземной станцией, искажается в результате интерференции.

К основным преимуществам спутниковых сетей связи относятся следующие:

- большая пропускная способность, обусловленная работой спутников в широком диапазоне гигагерцовых частот. Спутник может поддерживать несколько тысяч речевых каналов связи;

- обеспечение связи между станциями, расположенными на очень больших расстояниях, и возможность обслуживания абонентов в самых труднодоступных точках;

- независимость стоимости передачи информации от расстояния между взаимодействующими абонентами (стоимость зависит от продолжительности передачи или объема передаваемого трафика);

- возможность построения сети без физически реализованных коммутационных устройств, обусловленная широковещательностью работы спутниковой связи. Эта возможность связана со значительным экономическим эффектом, который может быть получен по сравнению с использованием обычной не спутниковой сети, основанной на многочисленных физических линиях связи и коммуникационных устройствах.

Особенностью спутниковых систем связи является необходимость работать в условиях сравнительно низкого отношения сигнал/шум, вызванного несколькими факторами:

- значительной удалённостью приёмника от передатчика,
- ограниченной мощностью спутника (невозможностью вести передачу на большой мощности).

В связи с этим спутниковая связь плохо подходит для передачи аналоговых сигналов. Поэтому для передачи речи её предварительно оцифровывают, используя, например, импульсно-кодовую модуляцию (ИКМ).

Для передачи цифровых данных по спутниковому каналу связи они должны быть сначала преобразованы в радиосигнал, занимающий определённый частотный диапазон. Для этого применяется модуляция. Наиболее распространёнными видами цифровой модуляции для приложений спутниковой связи являются фазовая манипуляция и квадратурная амплитудная модуляция.

Модуляция производится на земной станции. Модулированный сигнал усиливается, переносится на нужную частоту и поступает на передающую антенну. Спутник принимает сигнал, усиливает, иногда регенерирует, переносит на другую частоту и с помощью определённой передающей антенны транслирует на землю.

1.5 Развитие рынка VSAT-технологий в мире

По мнению ведущих мировых аналитиков, глобальный рынок VSAT растет значительно быстрее, чем его основные отрасли-конкуренты. Озвученные в различных исследованиях цифры наглядно демонстрируют продолжительную устойчивость мировой спутниковой отрасли, ее гибкость и сохранение потребности различных секторов экономики в спутниковых технологиях. В России и в Казахстане ситуация на рынке спутниковой связи меняется – если долгое время VSAT оставался исключительно корпоративной технологией, то сегодня мы находимся на этапе формирования сегмента VSAT-рынка, ориентированного на обеспечение доступа к Интернету частных пользователей.

1.6 Основные тенденции развития мирового рынка спутниковой связи

Согласно прогнозу развития мирового рынка спутниковой связи на ближайшее десятилетие, который был сделан европейским консалтинговым

агентством Euroconsalt, это направление ждет долгосрочный и стабильный рост. В период с 2011 по 2020 г. мировые компании планируют запустить около 1145 спутников всех типов, что в полтора раза больше, чем в течение предыдущего десятилетия [5]. Выручка от производства и запуска этих космических аппаратов должна составить около $196 млрд, 70% которых скорее всего будут отнесены к правительственным заказам. Рынок правительственных заказов при этом войдет в фазу некоторой стагнации, а традиционный рынок услуг фиксированной спутниковой связи и вещания покажет заметную устойчивость, и его объем к 2020 г. достигнет примерно $15 млрд [5].

При этом аналитики компании Northern Sky Research (NSR) отметили: «…несмотря на замедление темпов роста сектора фиксированной спутниковой связи в 2011 г. по сравнению с предыдущими годами, рынку следует готовиться к новой фазе роста и усиливающейся конкуренции между игроками»[6]. Практически все ведущие операторы, уловив тенденцию, направляют значительные инвестиции на расширение флота своих спутников. Согласно аналитическому отчету NSR, за последние 5 лет подобные капитальные затраты увеличивались в среднем на 17% в год и теперь находятся на рекордно высоких уровнях [6]. Рост количества спутников приводит к увеличению портфелей заказов, а также к притоку наличных средств в компании, что подтверждает инвестиционную привлекательность спутникового сектора.

Интересным примером, подтверждающим озвученную выше тенденцию, является деятельность оператора Intelsat, объявившего о своих планах по строительству спутников нового поколения на платформе EpicNG, разработку которой компания начала еще два года назад. Эта платформа призвана удовлетворить требования заказчиков оператора к совместимости развернутых ими ранее систем в области высокоскоростных каналов связи с новыми спутниками. Для осуществления поставленной задачи Intelsat планирует строительство двух новых перспективных КА – Intelsat-29e и Intelsat-33e, которые должны войти в эксплуатацию в 2015–2016 гг. Построенные спутники будут обладать всеми возможностями в C, Ku и Ka-диапазонах, а также будут включать в себя, помимо традиционных лучей с широким покрытием, узкие пятна покрытия, совмещенные с возможностями многократного использования частоты за счет географического разнесения лучей. Ожидается, что Intelsat-29e будет покрывать территории Южной и Северной Америки, а Intelsat-33e – территории стран Европы, Западной Азии, Ближнего и Среднего Востока [7].

1.7 Переход из Ku- в Ka-диапазон

Отдельного внимания заслуживает основная тенденция мирового рынка – активное развитие Ka-диапазона. Сегодня такое развитие идет в регионах с платежеспособным спросом и наиболее интенсивно – на территориях США,

Ближнего Востока, Европы и части Северной Африки, находящихся в зонах обслуживания спутников ViaSat-1, Yah-sat-1B, KA-SAT, Hylas. Внимание рынка к Ka-диапазону оказывает прямое влияние на сектор услуг в Ku-диапазоне: освобождение ресурсов на спутниках Ku-диапазона приводит к тому, что операторы этих спутников начинают предлагать ресурс на новых рынках. В частности, иностранные операторы начали активнее работать с российским рынком, и хотя контурные антенны зарубежных спутников не всегда адаптированы для покрытия территории Российской Федерации, однако они позволяют частично удовлетворить существующий спрос. Один из примеров – использование оператором "Газпром космические системы" спутника Astra-1F, предоставленного спутниковым оператором SES [8]. Другой пример – договоренность между оператором спутникового телевидения "Орион-Экспресс" и компанией Intelsat об аренде транспондеров на спутнике Horizons-2 [9].

Переход из Ku- в Ka-диапазон идет быстрыми темпами во многом благодаря появлению спутников с высокой пропускной способностью и энергетикой, так называемых HTS. Космические аппараты категории HTS могут обеспечить двух- или трехкратное увеличение пропускной способности по сравнению с традиционными спутниками, работающими на геостационарной орбите в Ku-диапазоне. Благодаря использованию этих спутников, услуга спутникового интернет-доступа посредством малогабаритного VSAT, которая успешно развивается в США и Европе уже более десяти лет, сейчас становится реальным конкурентом наземных технологий. Проекты запущены, технологии совершенствуются, количество абонентов растет. Яркий пример – деятельность американского оператора Hughes Network Systems, подключившего к услугам спутникового ШПД более 600 тыс. подписчиков в Северной Америке. Стабильный рост абонентской базы демонстрируют также сервисы Exede от компании ViaSat и широкополосный спутниковый сервис Tooway оператора Eutelsat на спутнике Ka-Sat.

Успешное развитие международных сервисов на основе Ka-диапазона оправдано, поскольку этот диапазон обладает рядом преимуществ, а именно позволяет перейти на более высокие скорости передачи данных, существенно удешевить технологию и создавать сравнительно недорогое оборудование, при этом стоимость абонентских терминалов уменьшается за счет массового производства. Таким образом, операторы могут предлагать услугу спутникового широкополосного доступа конечным пользователям по доступной цене.

1.8 Особенности космического сегмента современных сетей VSAT

В составе космического сегмента современных VSAT сетей используются исключительно геостационарные спутники, обладающие высокой степенью стабилизации на орбите (в пределах 0.1 град. по

наклонению в конце срока своего существования) и повышенной энергетикой стволов ретрансляционной аппаратуры. Естественно, что для обеспечения работы абонентских VSAT станций предпочтителен Ku-диапазон частот. Необходимо отметить, что подавляющее большинство современных спутников имеют ретрансляционную аппаратуру с “прозрачными стволами”. Хотя уже с начала 90-х годов активно прорабатываются проекты создания геостационарных спутников связи с коммутацией каналов и обработкой сигналов на борту (первыми действующими спутниками такого типа являются спутники серии Ital-sat и экспериментальный спутник ACTS), но сроки их реализации постоянно переносятся. Конечно, такие спутники принципиально изменили бы ситуацию на ранке VSAT. Станции стали бы заметно дешевле, правда, стоимость аренды каналов, скорее всего, существенно возросла бы. По-видимому, не технические, а финансовые и экономические проблемы не позволяют в обозримом будущем перейти к широкому внедрению нового поколения геостационарных спутников фиксированной связи.

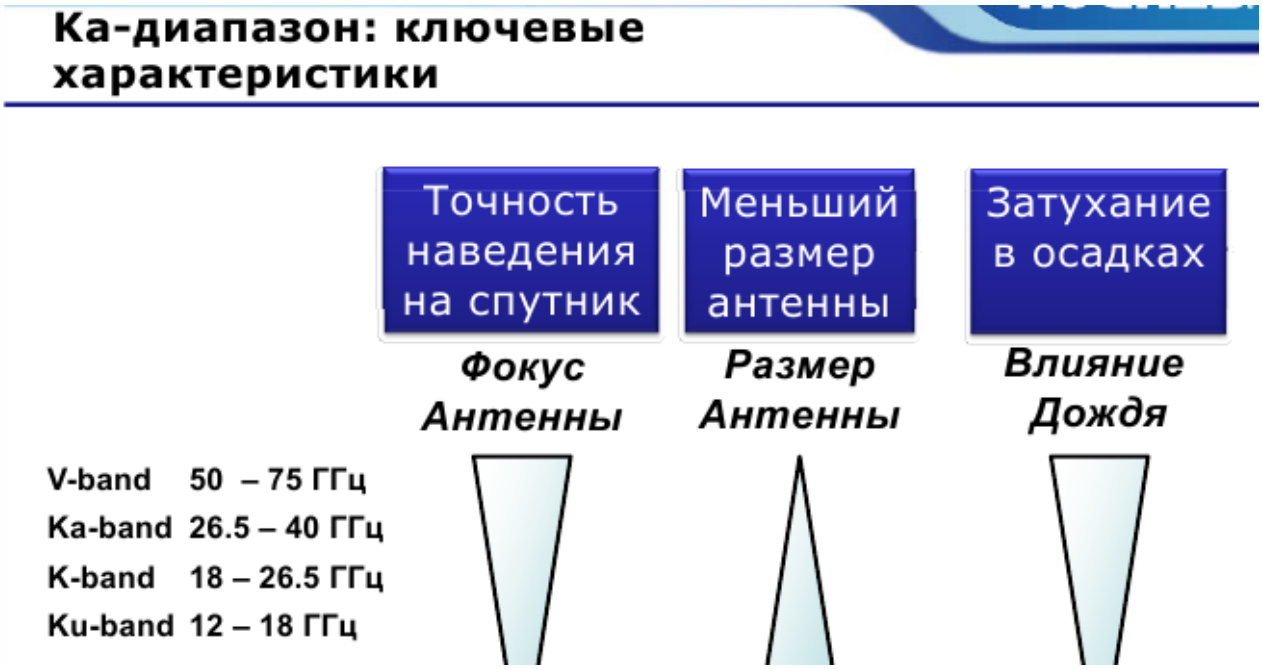


Рисунок 1.4 – Сравнение характеристик Ku- и Ka- диапазонов

По формальному признаку сетью VSAT является любая сеть связи, в которой задействованы земные станции с небольшими антеннами[3]. Однако есть ряд признаков, позволяющих выделить сети VSAT из всего многообразия ССС:

1) сети VSAT относятся к классу сетей фиксированной спутниковой службы;

2) космический сегмент сетей VSAT базируется на ресурсах геостационарных СР с непосредственной ретрансляцией и с приемо-передающими антеннами с глобальным или национальным лучом;

3) сети VSAT являются в основном корпоративными (ведомственными) сетями;

4) диаметр антенн терминалов сетей VSAT не превышает 4 метров.

Сети VSAT позволяют решить проблему информационного обеспечения федеральных и муниципальных органов, армии, силовых и таможенных структур, государственных и частных промышленных, добывающих и торговых компаний и корпораций, финансовых и банковских структур, поддерживая:

1) телефонную связь,
2) передачу данных и факсов,
3) диспетчерское управление,
4) сбор телеметрической информации,
5) контроль расходования ресурсов,
6) передачу файлов, программных продуктов и т.п.,
7) циркулярную передачу речи и видео.

Перечислим лишь некоторые конкретные приложения сетей VSAT:

1. Обеспечение связи с отдаленными и труднодоступными районами, а также с районами, лишенными заметной наземной инфраструктуры:

— связь регионов с центром страны или с местными административно-хозяйственными органами;

— телефонизация сельской местности;

— информационная поддержка медицинского обслуживания населения;

— поддержка сети Интернет для сельских школ и т.д.

2. Управление воздушным движением: связь между аэропортами, надежная передача речи и данных между пунктами контроля и управления, центральными офисами и воздушными судами в полете.

3. Банки и страховые компании: передача платежной информации, снятие выручки с банковских кассовых аппаратов, обеспечение банковских транзакций.

4. Розничная торговля: обслуживание сотен и тысяч торговых точек, таких как сети супермаркетов и аптек, обеспечение операций с кредитными карточками, переучет товаров, сводок о выручке, объемах продаж и покупательском спросе.

5. Добыча и транспортировка нефти и газа: дистанционный контроль трубопроводов, снятие информации с компрессорных станций, связь с районами добычи.

6. Обеспечение тысяч автозаправочных станций: централизованный сбор информации о выручке, авторизация кредитных карточек, контроль расхода нефтепродуктов.

7. Транспорт: централизованный контроль продажи авиационных и железнодорожных билетов и загруженности транспортных средств.

8. Информационная поддержка проведения национальных лотерей.

9. Сфера обслуживания: организация бронирования мест в гостиницах, мотелях, местах отдыха, прокат автомобилей и т.д.

1.8.1 Сравнительная экономическая эффективность

Сегодня на геостационарной орбите действует не менее 200 коммерческих спутников фиксированной связи. Наиболее дешевыми и эффективными являются спутники организации Intelsat. В таблице 1.1 представлены основные показатели, которые позволяют оценить себестоимость создания эквивалентного ствола спутников Intelsat. Аналогичные региональные и национальные спутники заметно уступают спутникам Intelsat (таблица 1.2). Даже с учетом затрат на поддержание и эксплуатацию космического сегмента, расходов на маркетинг, рекламу и прочее, очевидно, что спутники серии Intelsat имеют значительную дельту между арендной стоимостью ствола и его себестоимостью. Это дает определенную стабильность развития и возможность борьбы с конкурентами на рынке космической связи. Тем более, что наметилась общая тенденция снижения арендной стоимости.

С начала августа 2001 г. организация Intelsat преобразовалась в акционерное общество (часть космического флота Intelsat уже была передана ранее в ведение частной компании New Sky Satellite, или сокращенно NSS).

1.8.2 Технические особенности

С технических позиций к спутнику, используемому для обеспечения работы VSAT сети, предъявляются требования к повышенной энергетике и линейности ствола ретрансляционной аппаратуры. Очевидно, что чем выше эквивалентная изотропная излучаемая мощность (ЭИИМ) в линейном режиме, тем меньше может быть антенна наземной станции при прочих равных условиях. Соответственно, станция и дешевле (уменьшается стоимость не только оборудования станции, но и снижаются затраты на ее инсталляцию) и функционально удобнее для потребителя.

Таблица 1.1 - Технико-экономические показатели спутников связи и вещания организации Intelsat

Серия ИСЗ, головная организация по изготовл. (год заключ. контракта)	Число экв-ных стволов по 36 МГц, С +Ku диапазона	Средняя ст-сть изготовл. спутника, млн. долларов	Общая стоимость ИСЗ с учетом запуска, млн. долларов	Гарантированный срок активного сущ-ния, лет	Нормированная стоимость эквивалентного ствола 36 МГц, млн. долларов	
					Общая, с учетом запуска	Общая, приведенная к году эксплуатац.
Intelsat-5A Ford Aerospace (1976)	42+12	40	120	7	2,22	0,32
Intelsat-6 Hughes Aircraft (1982)	64+24	140	296	10	3,36	0,34

Продолжение таблицы 1.1

Серия ИСЗ, головная организация по изготовлению (год заключ. контракта)	Число экв-ных стволов по 36 МГц, С +Ku диапазона	Средняя ст-сть изготовл. спутника, млн. долларов	Общая стоимость ИСЗ с учетом запуска, млн. долларов	Гарантированный срок активного сущ-ния, лет	Нормированная стоимость эквивалентного ствола 36 МГц, млн. долларов	
					Общая, с учетом запуска	Общая, приведенная к году эксплуатац.
Intelsat-7 Ford Aerospace (1988)	42+32	78	200	10,9	2,70	0,29
Intelsat-7A Ford Aerospace (1990)	42+28	100	199,6	10,5	2,85	0,27
Intelsat-8 GE Astro Space (1992)	64+12	82,5	160,5	10	2,11	0,21
Intelsat-8A GE Astro Space (1993)	36,6	Н.д.	Н.д.+90	10	-	-
Intelsat-9 SS/Loral (1997)	76+20	121	221	13	2,3	0,18

П р и м е ч а н и я:
1) Стоимостные характеристики усредненны.
2) Название компаний указано на момент заключения первого контракта.
3) Срок службы превышает гарантированный срок на 3-5 лет.

Таблица 1.2 - Технико-экономические показатели региональных и национальных геостационарных спутников связи и вещания

Серия ИСЗ, головная организация по изготовл. (год заключения контракта)	Число эквивалентных стволов по 36 МГц	Средняя ст-сть изготовл. спутника, млн. долларов	Общая стоимость ИСЗ с учетом запуска, млн. долларов	Гарантированный срок активного сущ-ния, лет	Нормированная стоимость эквивалентного ствола 36 МГц, млн.долл.	
					Общая, с учетом запуска	Общая, приведенная к году эксплуатац.
Panamsat-2 Hughes Aircraft (1991)	52	100	200	15	3,85	0,26
Orion-F1 Matra Marconi (1989)	48	100	177*	10,5	3,69	0,35
Arabsat-1 Aerospatiale (1977)	24	48	110	7	2,29	0,33

Продолжение таблицы 1.2

Серия ИСЗ, головная организация по изготовл. (год заключения контракта)	Число эквивалентных стволов по 36 МГц	Средняя ст-сть изготовл. спутника, млн. долларов	Общая стоимость ИСЗ с учетом запуска, млн. долларов	Гарантированный срок активного сущ-ния, лет	Нормированная стоимость эквивалентного ствола 36 МГц, млн. долл.	
					Общая, с учетом запуска	Общая, приведенная к году эксплуатац.
Arabsat-2 Aerospatiale (1993)	35	65	129	12	3,69	0,31
Anik-E Spar (1986)	48	90	180,5	13	3,76	0,29
Koreasat-3 Lockheed Martin (1997)	45	75	195	12	4,33	0,36
Thaicom-3 Aerospatiale (1994)	43	90	200	14	4,65	0,33

В качестве усилительного элемента в современной бортовой ретрансляционной аппаратуре в С-диапазоне (рисунок 1.8) применяются твердотельные (транзисторные) усилители мощности, а в Ku-диапазоне (рисунок 1.9) мощные, с высоким КПД до 60% (в насыщении), лампы бегущей волны (ЛБВ). Линейность ЛБВ заметно хуже, чем у твердотельных усилителей. Если для достижения заданного уровня интермодуляционных составляющих (заданной линейности) в многочастотном режиме приходится уменьшать выходную мощность транзисторного усилителя в два раза, то в обычных усилителях на ЛБВ примерно в четыре раза (просто теряется 6дБ относительно мощности насыщения, которая уходит на нагрев космического пространства). Показатель линейности ствола по выходу является принципиальным показателем эффективности спутника при его выборе в качестве космического сегмента для сетей VSAT. В современных спутниках получен заметный прогресс за счет использования линеаризаторов усилителей мощности ствольных передатчиков, выполненных на ЛБВ. Их линейность, при наличие линеаризатора, практически идентична линейности твердотельных усилителей при снижении мощности относительно уровня насыщения всего на 3 – 4 дБ.

Рисунок 1.5 – Антенна VSAT, С-диапазон

Рисунок 1.6 - Антенны VSAT, Ku-диапазон

1.9 Пользователи VSAT

Одна из основных категорий клиентов сетей VSAT — это предприятия, имеющие подразделения, филиалы и производственные площадки там, где наземных каналов связи не существует вовсе. Это геологи и геофизики, газовики и нефтяники, строители дорог и мостов, воинские части, исправительные учреждения. Безусловно, на таких объектах в первую очередь необходима оперативная телефонная связь. Через абонентский терминал VSAT она легко организуется средствами IP-телефонии. На удаленном объекте устанавливается голосовой шлюз, через который к абонентскому терминалу подключаются один или несколько обычных телефонных

аппаратов или небольшая АТС. На центральной станции спутниковой сети установлено «ответное» оборудование телефонии, например, виртуальная телефонная станция («софтсвич»), которая обеспечивает подключение клиентских телефонов на удаленном объекте к телефонной сети общего пользования. Практикуются и другие схемы: на удаленный объект можно вынести абонентскую телефонную линию любого другого города, внутреннюю линию офисной АТС головного офиса клиента, организовать «горячий» телефон с вызовом без набора номера[10].

Активными пользователями VSAT являются морские суда, где используются стабилизированные антенны, которые позволяют отслеживать спутник, несмотря на изменение курса судна. В настоящее время практически все пассажирские круизные суда имеют на борту установку морского VSAT. Как правило, основной проблемой для морских пользователей является правильный выбор оператора VSAT, имеющего неограниченную зону покрытия по всему миру. А также автоматический переход с одного спутника на другой во время плавания[11]

Основная возможность систем морского VSAT — это предоставление широкополосного доступа к сети Интернет на судне, передаче данных и телефонии. Однако возможность применения сервисов на базе морского VSAT может быть значительно шире, нежели просто Интернет и телефон. Возможность организации широкополосного спутникового канала на судне позволяет внедрить ряд новых сервисов и услуг, ранее недоступных вследствие отсутствия дешёвого канала передачи данных. Такими сервисами могут быть видеоконференц-связь, дистанционное подключение и управление, мониторинг судовых параметров с берега и многое другое.

- стандартные средства связи по фиксированным безлимитным тарифам;
- дополнительные средства связи для экипажа и пассажиров;
- интеграция с бортовыми навигационными системами;
- электронное декларирование;
- телеметрия и видеонаблюдение за судовыми процессами;
- онлайн-консультация и дистанционное управление;
- единая информационная среда между судоходной компанией, береговыми службами и судами флота;
- защищённая корпоративная сеть;
- дистанционное обучение экипажа;
- возможность организации резервных каналов связи на судне.

В отличие от неподвижных VSAT-терминалов на берегу, морские VSAT-станции находятся в постоянном движении относительно земли. Под действием качки, а также при постоянных изменениях курса антенна VSAT постоянно изменяет своё положение в пространстве. Стабилизация антенны происходит в трёхмерном пространстве, по трём осям. Поэтому судовая антенна в любой момент времени нацелена на спутник, обеспечивая постоянный прием и передачу сигнала.

Подобные системы могут быть установлены на любые типы судов: суда торгового, пассажирского, рыбного, научного, военного флотов, суда спец. назначения, буровые платформы, яхты, катера, любые другие объекты водного транспорта, где требуется передача больших объёмов информации, телефония, VoIP, GSM, интернет, спутниковое телевидение, внедрение каких-либо новых технологических решений, которые связаны со спутниковыми системами связи.

2 Компании в Казахстане использующие технологию VSAT

Израильский производитель оборудования спутниковой связи - Gilat Satellite Networks - подписал контракты на развертывание широкополосных спутниковых сетей для четырех операторов Казахстана: Technoservice Lyuks, Jarykh, Astel и "Казахтелеком".

По всем четырем контрактам было установлено почти 1 тыс. терминалов VSAT. А всего в Казахстане, с учетом новых контрактов, будет развернуто около 3,5 тыс. терминалов VSAT компании Gilat - в настоящее время большинство операторов, предоставляющих телекоммуникационные услуги в Казахстане, работают на оборудовании этой израильской компании.

Оператор спутниковой связи Technoservice Lyuks установил терминалы SkyEdge VSAT для национальной сети, поддерживающей телефонию и высокоскоростной Интернет для корпоративных целей.

Компания ТОО «Жарык» первой в Казахстане установила сеть SkyEdge VSAT, которая используется для передачи данных для предприятий. В 1998 г. ТОО «Жарык» стала одной из первых компаний в Казахстане, которая развернула сеть производства Gilat.

Компания JSC Astel устанавил первую центральную станцию SkyEdge VSAT в Алма-Ате, с терминалами VSAT по всему Казахстану для горной промышленности, банковского сектора и других корпоративных сетей. Astel сейчас имеет более 1,1 тыс. терминалов VSAT производства Gilat и развернул вторую систему SkyEdge в Астане в начале 2006 г.

"Казахтелеком" развернул сеть SkyEdge VSAT на всей территории для предоставления доступа в Интернет, передачи данных и телефонии для школ, банков, правительственных организаций и горнорудных компаний. По завершению установки, Kazakhtelecom эксплуатирует более 1,3 тыс. терминалов VSAT производства Gilat.

Система SkyEdge - платформа нового поколения, предоставляющая IP услуги для частных фирм и общественных организаций Petah. Система SkyEdge VSAT производства Gilat обеспечила правительственные организации, банки и энергетические компании надежной высокоскоростной связью.

"В течение многих лет Gilat неуклонно развивает технологию VSAT, что помогает нам обслуживать предприятия Казахстана, организации и частных пользователей", - сказал президент Kazakhtelecom Хайрат Карибжанов.

"Казахстан известен своими суровыми природными условиями. Оптимизированная под IP-телефонию VSAT-технология доказала, что она является эффективным методом для предоставления услуг передачи данных, доступа в Интернет и телефонии для предприятий, организаций и населения страны. Мы надеемся на долгосрочное сотрудничество с правительственными организациями и поставщиками услуг", - сказал вице-президент компании Gilat по продажам в странах Евразии Арье Розичнер.

2.1 Информация о компании ТОО «Жарык» и ее деятельность

Созданная в 1992г. ТОО «Жарык» является одной из первых частных компаний в Республике Казахстан в сфере предоставления услуг спутниковой связи. Компания была создана для развертывания первой казахстанской спутниковой системы телевещания «Жарык». Было установлено более 1000 приемных спутниковых станций с ТВ-ретрансляторами, что позволило организовать прием республиканского телевидения практически на всей территории Казахстана.

На счету «Жарыка» совместные проекты с такими известными компаниями, как Telstra (Australia), Metromedia International Telecommunications Inc. (USA), Belcom (USA), Gilat и др. Компания «Жарык» участвовала в создании ряда предприятий: ТРК «31 канал», Алма-ТВ, Алма-Пейдж, Спектрум, Инстафон, Инкател, Асибо, Аргус-Контакт совместно с казахстанскими и иностранными партнерами (американская International Telcell nc., английская «Protocall ventures», Постприватизационный фонд ЕБРР, индонезийская компания «Индосат» и Tietamas Comexindo).

Участие в совместных предприятиях позволило нам получить большой опыт в таких областях, как спутниковое и эфирное теле и радиовещание, эфирно-кабельное телевидение, спутниковая связь, пейджинговая и транковая связь, системы беспроводного абонентского радиодоступа.

За время работы компании на рынке нами освоены практически все секторы телекоммуникационного бизнеса и собрана команда высококвалифицированных специалистов, что позволяет предложить Вам:

1) спектр услуг по организации телерадиовещания;
2) перегоны аудио и видеоматериалов;
3) услуги спутниковой связи системы Inmarsat и Intelsat;
4) услуги спутниковых коммуникаций SkyEdge, IDirect;
5) организацию корпоративных сетей;
6) поставка и монтаж телекоммуникационного оборудования

В настоящее время ТОО «Жарык» является учредителем двух предприятий:

1. ТОО «Инкател» (100% доля участия), которое имеет государственную лицензию АБА № 001627 по предоставлению услуг телекоммуникаций по выделенной сети связи.

2. ТОО «Жарык» в течение нескольких лет работает над проектом «Интегрированная цифровая сеть в Центральной Азии и на Среднем Востоке». Проект «Интегрированная цифровая сеть» предназначен для предоставления следующих услуг связи:

- интерактивное дистанционное обучение и подключение школ к Интернету;
- телемедицина;
- распространение художественных фильмов на сеть электронных кинотеатров;
- высокоскоростной Интернет;
- библиотечная сеть;
- сельская связь;
- широкополосная морская телекоммуникационная спутниковая система.
- цифровое спутниковое телевизионное и радиовещание.

Проект зарегистрирован в Комитете по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Казахстан как объект интеллектуальной собственности.

В настоящее время реализуются четыре направления проекта «Интегрированная цифровая сеть» – цифровой кинопрокат, дистанционное образование, морская телекоммуникационная спутниковая система связи и цифровое спутниковое теле и радиовещание:

- при финансовой поддержке АО " Национальный инновационный фонд" был реализован первый этап программы по развитию первой в СНГ сети электронных кинотеатров «Nurl@n», установлено 137 кинотеатров, создана эфирная студия. В настоящее время ведутся работы по внедрению усовершенствованной системы распространения видеопродукции в стандарте ТВЧ (телевидения высокой четкости), что позволит демонстрировать в кинотеатрах фильмы с качеством не хуже чем в современных кинотеатрах.
- за счет собственных средств разворачивается дистанционная интерактивная система обучения ДИСО. Создан современный тренинг-центр оборудованный: интерактивной лекционной доской, мультимедийным компьютером, документ — камерой, многофункциональным компьютером, видеокамерами др. Закуплена центральная спутниковая станция SkyEdge израильской фирмы Gilat , для организации сети с высокоскоростными обратными каналами. Система готова к предоставлению услуг дистанционного образования и организации учебного телевидения.
- организовано многопрограммное спутниковое цифровое вещание в европейском стандарте трех ТВ программ и двух радиопрограмм. В июле 2007 года смонтировано оборудование стандарта DVB-S2/MPEG-4, что позволило не только значительно экономить спутниковую емкость, но и быть готовым к организации вещания телевидения высокой четкости (HDTV).
- организовано подключение Центральной спутниковой станции ТОО «Жарык» волоконно-оптическими линиями с крупными операторами

кабельного ТВ – «Алма-ТВ», «ICON» и «Digital TV», а также к сетям «Казахтелекома», что с учетом технических возможностей спутникового телепорта позволяет на базе ТОО «Жарык» создать казахстанский центральный узел контента — провайдера;

- в настоящее время в связи с резким увеличением объема морских операций на Каспийском море увеличилось количество заказов на поставку морских терминалов Инмарсат и Intelsat. В связи с этим вопрос создания широкополосной морской спутниковой системы связи на базе VSAT-технологии с антеннами на гироскопических стабилизированных платформах и загрузки ЦУС SkyEdge становится экономически интересным.

Одна из услуг предоставляемых компанией ТОО «Жарык» это организация корпоративных сетей на платформе Gilat SkyEdge.

В последнее время растет потребность крупных предприятий в создании разветвленных корпоративных сетей, объединяющих центральные офисы с филиалами в регионах страны. Сегодня требуются не только стабильная передача данных, но и качественная телефонная связь, услуги видео конференц-связи, доступ в Интернет. В связи обширной географией нашей страны и отсутствием во многих регионах наземных коммуникаций, для решения этих задач необходимо, а порой и единственно возможно использование спутниковой связи.

Для создания проектов спутниковых корпоративных сетей ТОО «Жарык» использует самые передовые технологии, представленные на международном рынке. Это классическая технология с использованием системы Gilat SkyEdge.

Такой подход позволяет определить наиболее экономически выгодное и эффективное решение, удовлетворяющее требованиям заказчика, более того, он позволяет сети клиента расти вместе с его бизнесом.

2.2 Решения для корпоративных клиентов

Локальная корпоративная сеть отличается от предыдущей тем, что центральная станция сети располагается на коммутационном узле или центральном офисе заказчика. Клиент получает автономное решение и гибкое управление собственной сетью. Такая организация сети позволяет более эффективно использовать спутниковый ресурс и, соответственно более экономична для трафика между центром и удаленными станциями в случае, если центральная станция находится не в Алматы[12].

Организация локальной спутниковой сети оптимальна для связи 2-100 удаленных станций, когда крайне необходимо решение задач корпоративной телефонии, конференц - связи, транзита трафика реального времени или Интернета с высокой скоростью. Сеть может быть построена по топологиям «star», «mesh» или смешанная «star+mesh». В сетях такого типа выделяется общий ресурс пропускной способности, который может оперативно распределятся межу удаленными станциями.

По желанию заказчика для отдельных узлов сети, включая центральный возможна организация канала до центральной управляющей станции ТОО «Жарык» в г. Алматы для обеспечения скоростного выхода в Интернет и прочих услуг.

Система Gilat SkyEdge – уникальная платформа для передачи данных и голоса:

- улучшенная архитектура;
- поддержка топологий: звезда (star), мульти-звезда (multi-star), полносвязная (mesh);
- поддержка одновременной работы с несколькими спутниками на одном HUB;
- сервисы передачи данных—IP, legacy, mesh IP trunking;
- телефонные сервисы — «mesh» передача голоса путем коммутации каналов, «mesh» VoIP;
- несколько несущих Outbound стандарта DVB-S— до 66 Мбит/с на одну несущую;
- опциональная поддержка малых сетей, с 340 Кбит/с;
- несущая Inbound—от 60 Кбит/ с до 2 Мбит/с;
- различные схемы доступа к спутниковому ресурсу.

Система SkyEdge поддерживает различные топологии сети (star, multi-star, mesh). SkyEdge — это:

- турбо кодирование и модуляция 8PSK для канала Outbound;
- патентованная технология передачи голоса через DVB;
- непрерывный полный QoS;
- виртуальные частные сети (MPN – Managed Private Networks);
- интегрированный клиент VPN с ускорением трафика;
- новые схемы доступа к спутниковому сегменту.

Gilat SkyEdge терминалы поддерживает телефонию, передачу данных и видео через спутниковый канал связи. SkyEdge предлагает эффективный способ предоставления телекоммуникационных услуг для предприятий, операторов связи, государственных организаций. Технические решения, заложенные в двусторонних VSAT-терминалах спутниковой связи системы SkyEdge, обеспечивают универсальность развертывания и конфигурации.

Преимущества SkyEdge:

- высокая производительность;
- масштабируемость;
- поддержка топологии «звезда», mesh, full mesh;
- встроенное ускорение TCP и HTTP трафика;
- поддержка QoS;
- поддержка VoIP, IP multicast, видеоконференцсвязи, Internet.

Режимы доступа абонентов к ресурсу сети Оператора Gilat SkyEdge:

Режим множественного доступа абонентов выбирается на основе анализа или прогноза характера трафика. Условно эти режимы можно

разделить на две основные группы: режимы случайного доступа и режимы закрепленного доступа.

2.2.1 Режимы случайного множественного доступа.

Эта группа представляет собой режимы наиболее приемлемые для трафика коротких сообщений объемом в несколько сотен или тысяч байтов с небольшой скважностью (промежуток времени между передачей сообщений/время передачи сообщения значительно менее 1). Такие сообщения называют транзакциями. Например, характерными транзакциями являются платежные документы. Очевидно, что предоставление таким источникам трафика постоянных закрепленных (выделенных) каналов приведет к неэффективному использованию спутникового ресурса и, соответственно, к низкой коммерческой эффективности решения.

Оптимальным режимом передачи транзакций является режим случайного доступа (RA), который не предполагает организации выделенных обратных каналов для трафика данного вида ни на постоянной основе, ни по требованию на время передачи. Для режима RA в общем пуле обратных каналов («Полосе обратных каналов») отводится определенная их часть, которая доступна для передачи транзакций всех пользователей (или выделенной группы), работающих в сети. При этом каждый VSAT-терминал работает на излучение только при поступлении на ее вход очередной транзакции. Другие VSAT-терминалы этой группы работают аналогичным образом и независимо друг от друга. В результате формируется трафик со случайной частотно-временной последовательностью, что все же приводит к появлению случайных коллизий между отдельными транзакциями разных терминалов.

Наличие коллизий выявляется на ЦЗС, которая «сообщает» определенным терминалам о необходимости повторения поврежденных данных. Реализация этого режима основана на методе множественного доступа «Слотированная ALOHA». Эффективность использования частотного ресурса при передаче коротких и редких транзакций примерно равна 30%. Для режима RA «Слотированная ALOHA» требуется выделить полосу обратных каналов примерно втрое большую по сравнению с гипотетическим случаем, когда все транзакции передавались бы непрерывно одна за другой в выделенном канале. Любые другие варианты доступа при передаче таких транзакций имеют меньшую эффективность.

Одним из параметров передачи транзакций является их скважность. Если интенсивность потока данных определенных терминалов нарастает, а это постоянно отслеживает ЦЗС, и начинает превышать некоторый установленный порог, то ЦЗС, в рамках ресурса для режима RA, назначает для таких терминалов частоты выделенных каналов на время, пока интенсивность потока не станет ниже пороговой. В результате процент коллизий существенно снижается, а интегральная эффективность

использования спутникового ресурса в режиме RA повышается и может достигать примерно 80%. Указанный алгоритм, который обеспечивает автоматическую адаптацию сети к изменениям параметров трафика, называется CRA и относится к первой группе режимов множественного доступа.

2.2.2 Режимы закрепленного множественного доступа.

Режим временно закрепленного доступа (GA) применяется, если для обратных каналов назначаются специальные каналы предназначенные для тех терминалов, которые, помимо других видов трафика осуществляют передачу данных по протоколу FTP, или ему подобному по свойствам.

По сути GA является комбинацией двух различных режимов доступа: случайный доступ для запросов (RRA) и собственно гарантированный доступ GA. RRA используется только для передачи первоначальных контрольных сообщений от терминала и запросов на выделение ресурса. Собственно режим GA используется, главным образом, для передачи данных в уже выделенной частотной полосе, т.е. в закрепленном канале. В этом режиме коллизии при передаче данных исключены, поскольку одинаковые частотно-временные слоты не могут быть назначены различным терминалам.

В режиме GA распределение ресурса обратных каналов основано на анализе требований (запросов) конкретных терминалов, а сами требования на выделение ресурса определяются в соответствии с политикой очередности каждого терминала на передачу данных. Получив запрос от определенного терминала, ЦЗС выделяет запрашиваемый ресурс в виде фиксированного частотно-временного слота с минимально возможным временем начала передачи. Окончание выделения фиксированного ресурса происходит после получения ЦЗС сообщения этого конкретного терминала об отсутствии очереди данных в ее передающем буфере.

Режим GA фактически реализует для передачи данных в сети с топологией «звезда» предоставление обратных каналов по требованию. При использовании данного режима потери в пропускной способности канала связанны только с передачей служебных сообщений. При больших объемах полезной информации в виде файлов FTP эти потери относительно невелики, поэтому эффективность использования ресурса обратных каналов близка к единице. Аналогичный способ используется при формировании множественного доступа при любой непрерывной или почти непрерывной передаче, т.е. при скважности стремящейся к 1, но при отсутствии жесткого требования к минимизации задержки в реакции системы. В случае необходимости минимизировать задержку, администратором ЦУС может быть заведомо установлен режим закрепленного канала (DA) для терминала (группы терминалов). Основной для этого назначения является необходимость обеспечить режим квазиреального времени передачи. Другим характерным примером является телефонный трафик. Для трафика телефонии

резервируется определенное число обратных каналов, обозначаемых VDA. Общий частотный ресурс всех каналов VDA определяется требуемой емкостью сети для передачи телефонного трафика в час наибольшей нагрузки (ЧНН). Доступ терминалов к этим каналам осуществляется автоматически по их требованиям на время телефонного соединения.

На ЦУС постоянно контролируется и анализируется трафик. По результатам этого анализа оптимизируется настройка спутникового процессора ЦЗС для реально действующего трафика в сети по критерию минимизации расхода ресурса сети. Адекватная реакция на изменение ситуации в процессе расширения абонентского сегмента сети и обеспечивает минимизацию накладных расходов.

Диапазон сетей SkyEdge начинается с малых сетей, состоящих из нескольких удаленных станций, предоставляющих различные сервисы (или телефония, или передача данных), до огромных сетей с количеством станций до 32, 000, одновременно предоставляя различные типы сервисов с поддержкой широкого диапазона приложений, построенные на различных типах VSAT.

3 Энергетический расчет спутниковой линии

3.1 Расчет параметров установки антенн земных станций

Рассчитаем угол места и азимут на спутник с земных станций по формулам:

$$Az = 180° - arctg\left(\frac{tg\Delta\beta}{\sin\xi}\right), \tag{3.1}$$

где Az – азимут на спутник с земной станции, град;

$\Delta\beta = |\beta_{кс} - \beta_{зс}|$ - разность долгот космической и земной станции, град;

$\beta_{кс}$ – долгота подспутниковой точки, град;

$\beta_{зс}$ – долгота земной станции, град;

ξ – широта земной станции, град.

$$\gamma = arctg\left(\frac{\cos\Delta\beta \cdot \cos\xi - 0{,}15126}{\sqrt{\sin^2\Delta\beta + \cos\Delta\beta \cdot \sin\xi}}\right), \tag{3.2}$$

где γ – угол места на спутник с земной станции, град;

$\Delta\beta = |\beta_{кс} - \beta_{зс}|$ - разность долгот космической и земной станции, град;

$\beta_{кс}$ – долгота подспутниковой точки, град;

$\beta_{зс}$ – долгота земной станции, град;

ξ – широта земной станции, град.

Координаты мест где установлены земные станции:

Алматы	43°15′ с.ш.	76°54′ в.д.
Морское судно в Каспийском море	42°00′ с.ш.	51°00′ в.д.

Координаты спутника Intelsat 17: 66°00′ в.д.

С помощью сайта intersputnik.ru, нашли зону покрытия спутника Intelsat 17, по рисунку 3.1 видно, что в зону покрытия входит вся территория Республики Казахстан.

Подставляя исходные данные в формулы (3.1) и (3.2), получаем азимут и угол места для ЗС1 (Алматы):

$$\Delta\beta = \left|\beta_{кс} - \beta_{зс}\right| = 66 - 76{,}9 = -10{,}9^{\circ}$$

$$Az = 180^{\circ} - arctg\left(\frac{tg(-10{,}9^{\circ})}{\sin 43{,}25^{\circ}}\right) = 3{,}406^{0}.$$

$$\gamma = arctg\left(\frac{\cos(-10{,}9^{\circ})\cdot\cos 43{,}25^{\circ} - 0{,}15126}{\sqrt{\sin^{2}(-10{,}9^{\circ}) + \cos(-10{,}9^{\circ})\cdot\sin 43{,}25^{\circ}}}\right) = 0{,}59^{\circ}.$$

Аналогичные расчеты проводим для ЗС2 (Морское судно) в программной среде MathCAD14 (Приложение А). Полученные результаты вносим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты угла места и азимута для двух ЗС

Земная станция	Азимут	Угол места
Алматы	$3{,}406^{0}$	$0{,}59^{0}$
Морское судно	$2{,}761^{0}$	$0{,}591^{0}$

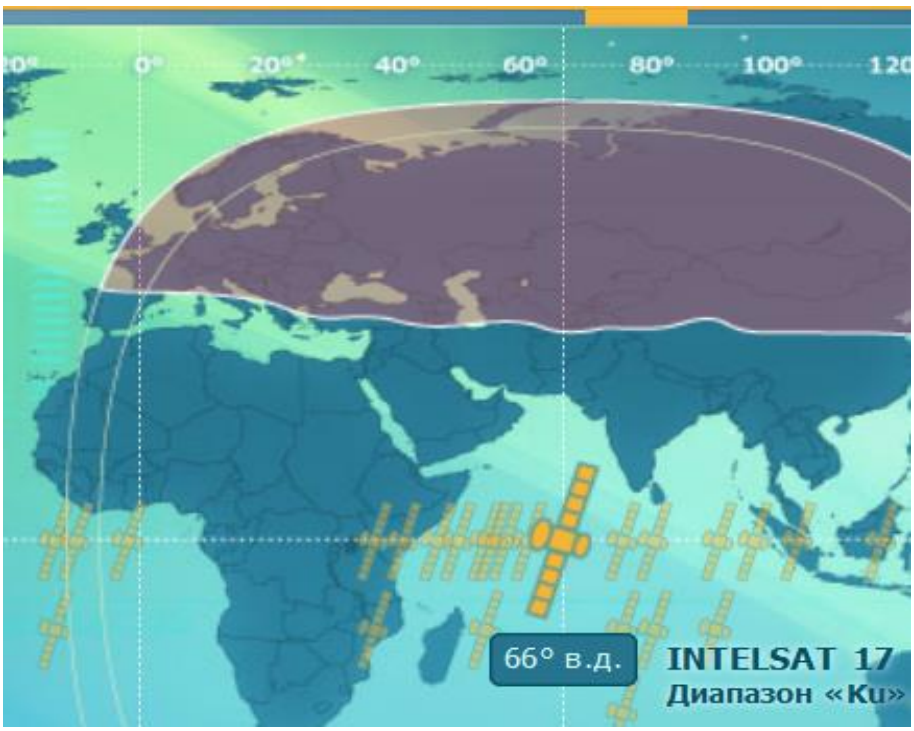


Рисунок 3.1 – Зона покрытия искусственного спутника земли Intelsat 17

3.2 Расчет затухания сигнала при распространении сигнала

Основная причина затухания радиосигнала, это затухание в свободном пространстве, вызванное сферической расходимостью фронта волны. Данная величина, может быть найдена из формулы:

$$L_0 = 20\lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right), \tag{3.3}$$

где L_0 – затухание энергии в свободном пространстве, дБ;

d – расстояние между ИСЗ и ЗС, м;

$\lambda = c/f$ – длина волны передаваемого сигнала, м;

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

f – частота сигнала, Гц.

Рассчитаем расстояния от земных станций до бортового ретранслятора ИСЗ по формуле:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos\psi} \tag{3.4}$$

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

ξ – широта наземной станции, град.;

$\Delta\beta = |\beta_{кс} - \beta_{зс}|$ – разность долгот космической и земной станции, град.;

d – расстояние от земной станции до спутника, км.

Подставляя исходные данные в формулу определения расстояния, получим расстояния между станциями ЗС-ИСЗ:

1) расстояние от ЗС1 до спутника:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos\xi \cos\Delta\beta} = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot 0{,}728 \cdot 0{,}982} = 39280\ км,$$

2) расстояние от ЗС2 до спутника:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos\xi \cos\Delta\beta} = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot 0{,}743 \cdot 0{,}966} = 37850\ км,$$

Затухание энергии сигнала в свободном пространстве сильно зависит от частоты. При работе с ИСЗ Intelsat 17, согласно частотному плану выбираем рабочие частоты шестого ствола: частота приема ЗС 11158,33МГц; частота передачи 14208,33 МГц.

Рассчитаем рабочие длины волн для земной станции в

Ku-диапазоне:

$$\lambda_{ПРД} = \frac{c}{f_{\uparrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{14208{,}33 \cdot 10^9} = 0{,}021\ \text{м},$$

$$\lambda_{ПРМ} = \frac{c}{f_{\downarrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{11158{,}33 \cdot 10^9} = 0{,}027\ \text{м}.$$

Ka-диапазон:

$$\lambda_{ПРД} = \frac{c}{f_{\uparrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{30 \cdot 10^9} = 0{,}01$$

$$\lambda_{ПРМ} = \frac{c}{f_{\downarrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{20 \cdot 10^9} = 0{,}015$$

Для ЗС затухание энергии сигналов в свободном пространстве:

1) ЗС1-ИСЗ :

$$L_{0\,ПРД} \uparrow = 20\lg\left(\frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 39280 \cdot 10^3}{0{,}021}\right) = 207{,}423\ \text{дБ},$$

а на пути распространения ИСЗ-ЗС1:

$$L_{0ПРМ} \downarrow = 20\lg\left(\frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 39280 \cdot 10^3}{0{,}027}\right) = 205{,}24\ \text{дБ}$$

2) ЗС2-ИСЗ:

$$L_{0\,ПРД} \uparrow = 20\lg\left(\frac{4\cdot 3{,}14\cdot 37850\cdot 10^3}{0{,}021}\right) = 207{,}101 \text{ дБ},$$

а на пути распространения ИСЗ-ЗС2:

$$L_{0\,ПРМ} \downarrow = 20\lg\left(\frac{4\cdot 3{,}14\cdot 37850\cdot 10^3}{0{,}027}\right) = 204{,}918 \text{ дБ}$$

Помимо затухания в свободном пространстве, сигнал в линиях спутниковой связи подвержен влиянию большого числа других факторов. Таких как поглощение в атмосфере, рефракция, влияние дождевых осадков и т. д. С другой стороны, на приемное устройство спутника и земной станции кроме собственных флуктуационных шумов воздействуют разного рода помехи в виде излучения космоса, Солнца и планет. В этих условиях правильный и точный учет влияния всех факторов позволяет осуществить оптимальное проектирование системы, обеспечить ее уверенную работу в наиболее трудных условиях и в то же время исключить излишние энергетические запасы, приводящие к неоправданному увеличению сложности аппаратуры земной станции.

Нормы на некоторые качественные показатели спутниковых каналов (например, отношение сигнал–шум) имеют статистический характер. Это заставляет оценивать возмущающие факторы также статистически, т.е. при расчетах вводить не только количественную меру воздействия того или иного фактора, но и вероятность его появления. Необходимо учитывать характер и число передаваемых сигналов, а также характер их преобразования в спутниковом ретрансляторе.

Расчет дополнительного затухания сигнала в атмосфере и дополнительных ослаблений вызванных дождем, туманом и облачностью, из-за рефракции и неточности наведения антенны на ИСЗ производится один раз для линии вверх и линии вниз, так как используются геостационарные ИСЗ, и в пределах Казахстана данные параметры будут меняться незначительно.

Большая часть потерь сигнала в тропосфере является случайной, так как зависит не только от длины пути в этой среде и угла места, но и от поглощения сигнала в осадках. Чем выше частота связи, тем больше потери в осадках при заданной их интенсивности, которая, в свою очередь, является случайной.

В тропосфере основные потери вызываются кислородом O_2, водяными парами H_2O и осадками в виде тумана, дождя и снега.

Затухание в гидрометеорах зависит от интенсивности дождя, размеров зоны их выпадения и распределения интенсивности по зоне. Поглощение в тумане, как правило, на порядок меньше, чем при дожде, и при ориентировочных расчетах может не учитываться. Мокрый снег в виде крупных хлопьев, выпадающих на антенну, может вызвать поглощение на 4-6 дБ большее, чем при дожде, однако вероятность такого явления невелика.

3.3 Расчет дополнительного затухания энергии сигнала на линиях вверх и вниз

Дополнительные потери связаны со следующими явлениями:

- поглощение энергии сигнала в газообразной среде атмосферы;
- потери из-за рефракции и неточности наведения антенн:
- фазовые эффекты в атмосфере;
- потери из-за несогласованности поляризаций антенн;
- деполяризация радиоволн в атмосфере.

Таким образом, вышесказанное можно сформулировать как:

$$L_{доп} = L_а + L_д + L_н, \qquad (3.5)$$

где $L_{доп}$ – дополнительное затухание (потери) сигнала, дБ;

$L_а$ – поглощение энергии сигнала в атмосфере, дБ;

$L_д$ – потери в осадках (дожде, мокром снеге), дБ;

$L_н$ – потери из-за рефракции и неточности наведения антенн, дБ.

3.3.1 Расчет потерь сигнала в нормальной атмосфере

В диапазонах частот, выделенных для спутниковых систем, влияние атмосферы проявляется в виде ослабления (поглощения) радиоволн в тропосфере и ионосфере, искривления траектории радиолуча в результате рефракции, изменения формы и вращение плоскости поляризации радиоволн и появление помех обусловленных тепловым излучением атмосферы и шумами поглощения.

Рассмотрим первый фактор - поглощение радиоволн в атмосфере, который количественно определяется коэффициентом $L_а$. При f > 500 МГц поглощение определяется тропосферой, вернее газами тропосферы – кислородом и водяными парами, дождем и прочими гидрометеорами /3/:

$$L_а = L'_{O2} l_1 + L'_{H2O} l_2, \qquad (3.6)$$

где L'_{O2} – коэффициент погонного поглощения в кислороде, дБ/км;

L'_{H2O} – коэффициенты погонного поглощения в водяных парах, дБ/км;

l_1 – эквивалентная длина пути сигнала в кислороде, км;

l_2 – эквивалентная длина пути сигнала в водяных парах, км.

Эквивалентная длина пути сигнала в стандартной атмосфере зависит и от эквивалентной толщины атмосферы для кислорода и водяных паров (h_{O2} и h_{H2O}), а также от угла места антенны земной станции γ и высоты земной станции над уровнем моря h_3.

$$l_1 = \frac{h_{O2} - h_3}{\sin\gamma}, \quad l_2 = \frac{h_{H2O} - h_3}{\sin\gamma} \tag{3.7}$$

где γ – угол места антенны ЗС, град;

h_3 – высота ЗС над уровнем моря 681 м;

h_{O2} ≈ эквивалентная толщина слоя кислорода в стандартной атмосфере 5,3 км[13];

h_{H2O} ≈ эквивалентная толщина слоя водяных паров в стандартной атмосфере 2,1 км[13].

Преобразовав формулу (3.6) согласно формуле (3.7) получаем выражение:

$$L_a = \frac{L'_{O2}(h_{O2} - h_3) + L'_{H2O}(h_{H2O} - h_3)}{\sin\gamma} \tag{3.8}$$

Представленные в формуле (3.6) коэффициенты погонного поглощения для стандартизированной атмосферы показаны на рисунке 3.2 в виде зависимости коэффициента молекулярного поглощения для кислорода O_2 и водяных паров H_2O от частоты сигнала.

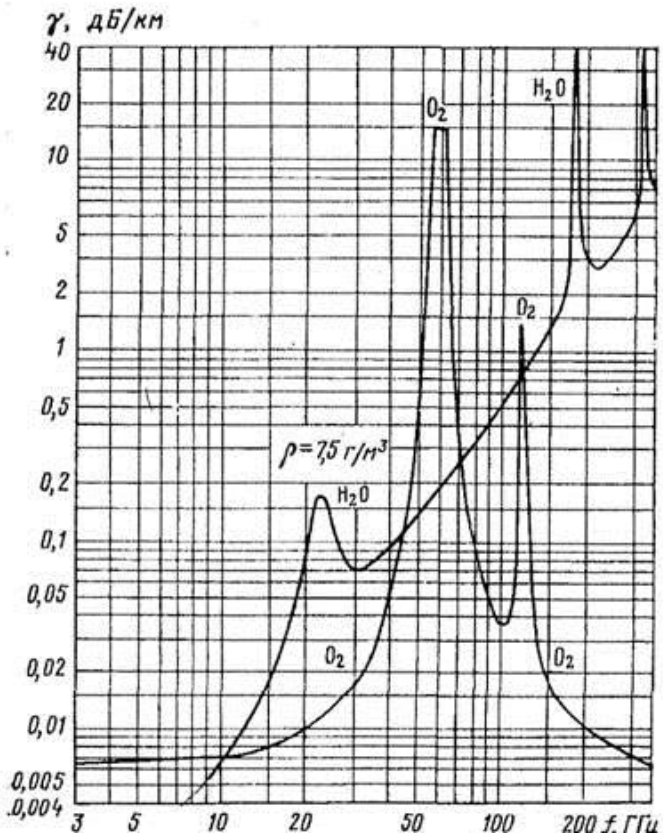


Рисунок 3.2 – Зависимость коэффициента молекулярного поглощения для кислорода O_2 и водяных паров H_2O

Очевидно, что коэффициенты погонного поглощения в кислороде и в водяных парах из рисунка 3.2, для частоты 14 ГГц составляют:

L'_{O2} = 0,007 дБ/км, L'_{H2O} = 0,015 дБ/км,

а для 11 ГГц составляют:

L'_{O2} = 0,007 дБ/км, L'_{H2O} = 0,006 дБ/км.

Коэффициенты погонного поглощения в кислороде и в водяных парах из рисунка 3.2, для частоты 30 ГГц составляют:

L'_{O2} = 0,015 дБ/км, L'_{H2O} = 0,07 дБ/км,

а для 11 ГГц составляют:

L'_{O2} = 0,01 дБ/км, L'_{H2O} = 0,06 дБ/км.

Окончательно согласно имеющимся данным, находим ослабление сигнала в атмосфере, так как значение угла места отличается только на 0,001 долю, произведем один расчет:

Ku-диапазон:

а) линия вверх для ЗС1 и ЗС2:

$$L_a = \frac{0{,}007(5{,}3-0{,}681)+0{,}015(2{,}1-0{,}681)}{\sin 0{,}59} = 0{,}096 \text{ дБ}.$$

б) линия вниз для ЗС1 и ЗС2:

$$L_a = \frac{0{,}007(5{,}3-0{,}681)+0{,}006(2{,}1-0{,}681)}{\sin 0{,}59} = 0{,}073 \text{ дБ}.$$

Ka-диапазон:

а) линия вверх для ЗС1 и ЗС2:

$$L_a = \frac{0{,}015(5{,}3-0{,}681)+0{,}07(2{,}1-0{,}681)}{\sin 0{,}59} = 0{,}303 \text{ дБ}.$$

б) линия вниз для ЗС1 и ЗС2:

$$L_a = \frac{0{,}01\cdot(5{,}3-0{,}681)+0{,}06\cdot(2{,}1-0{,}681)}{\sin 0{,}59} = 0{,}236 \text{ дБ}.$$

3.3.2 Расчет ослабления уровня сигнала, вызванного дождем

Интенсивность рассеивания и поглощения энергии радиоволн в дожде зависит от интенсивности дождя I_m мм/ч. Кроме того, существенную роль

играют размер области, занятой дождем, электрические свойства частиц, климатический район расположения наземной станции, а также такой фактор, как неравномерность дождя. Дожди сильной интенсивности локализованы и имеют ярко выраженное ядро большой интенсивности, а также обширную зону, в которой интенсивность убывает по мере удаления от ядра. Характерно и то, что чем выше интенсивность дождя, тем меньше его продолжительность. Важным фактором для расчетов ослабления сигнала в дождях является также их средняя продолжительность в данном климатическом районе или среднегодовая интенсивность, которая для этого района не превышает реальную продолжительность 99% времени в году, или, наоборот, превышает ее 0,01% времени.

Строгая количественная оценка коэффициента ослабления в дожде с учетом всех влияющих факторов затруднена и обычно используют усредненные эмпирические оценки для той или иной климатической зоны с учетом данных многочисленных экспериментальных наблюдений.

Интенсивность дождя различна в разных географических районах и в разное время года. Казахстан согласно Рекомендациям МСЭ относится к зоне Е, следовательно, интенсивность дождя для 0,001% худшего времени года составляет $I_д$=22 мм/ч.

Чтобы определить ослабление сигнала в дожде на линии ЗС–ИСЗ (или ИСЗ–ЗС), необходимо знать длину пути сигнала в дожде. Очевидно, высота дождя определяется высотой изотермы 0°С (или уровнем замерзания воды), ниже которой ледяные капли дождя переходят в жидкую фазу.

Согласно Рекомендации МСЭ средняя высота нулевой изотермы определяется формулой:

$$h_{\text{Е}} = 5{,}1 - 2{,}151 \cdot \lg(1 + 10^{\frac{\xi - 27^\circ}{25}}), \qquad (3.9)$$

где $h_{\text{Е}}$ – средняя высота нулевой изотермы, км;

ξ – широта земной станции, град.

Высота дождя определяется умножением h_E на эмпирический коэффициент, который учитывает, что в тропических зонах высота дождя часто значительно ниже уровня замерзания:

$$h_{\text{Д}} = C \cdot h_{\text{Е}}, \qquad (3.10)$$

где: $C = 0{,}6$ при $0^\circ \le |\xi| < 20^\circ$

$C = 0{,}6 + 0{,}02(|\xi| - 20)$ при $20^\circ \le |\xi| \le 40^\circ$

$C = 1$ при $|\xi| > 40^\circ$

Для климатической зоны Казахстана C = 1 (согласно статистическим данным), => $h_Д = h_E$.

Необходимо также учесть пространственную неравномерность дождя в горизонтальном направлении. Длина пути сигнала, по наклонной трассе от станции до высоты дождя определяется как:

$$d_Д = \frac{2(h_Д - h_З)}{\sqrt{\sin^2\gamma + 2(h_Д - h_З)} + \sin\gamma}, \text{ при } \gamma<10^\circ, \quad (3.11)$$

$$d_Д = \frac{(h_Д - h_З)}{\sin\gamma}, \text{ при } \gamma>10^\circ, \quad (3.12)$$

где $d_Д$ – длина пути сигнала, по наклонной трассе от ЗС до высоты дождя, км;

$h_З$ – высота ЗС над уровнем моря, км;

γ – угол места антенны ЗС, град.

Также для расчёта необходимо знать горизонтальную проекцию наклонной трассы, которую можно определить по выражению:

$$d_Г = d_Д \cdot \cos\gamma, \quad (3.13)$$

где $d_Г$ – горизонтальная проекция наклонной трассы, км;

$d_Д$ – длина пути сигнала, по наклонной трассе от ЗС до высоты дождя, км;

γ – угол места антенны ЗС, град.

А также фактор уменьшения, учитывающий неравномерность дождя для 0,01% времени:

$$r_{0.01} = \frac{90}{90 + 4d_Г}, \quad (3.14)$$

где $r_{0,01}$ – фактор уменьшения, безразмерная величина;

$d_Г$ – горизонтальная проекция наклонной трассы, км;

Окончательно ослабление сигнала в дожде определяется, как значение превышаемое в 0,01% среднего года, по формуле:

$$L_Д = L'_Д \cdot r_{0.01} \cdot d_Д, \quad (3.15)$$

где $r_{0,01}$ – фактор уменьшения, безразмерная величина;

$d_Д$ – длина пути сигнала, по наклонной трассе от ЗС до высоты дождя, км;

$L'_Д$ – погонное ослабление сигнала в дожде $L'_Д$, дБ/км.

Функции погонного ослабления $L'_Д$ для данной интенсивности $I_д$, в диапазоне частот 9…30 ГГц могут быть аппроксимированы степенной зависимостью:

$$L'_Д = \theta_Д \cdot I_Д^{\psi_Д}, \tag{3.16}$$

где коэффициенты $\psi_Д$ и $\theta_Д$ являются функциями частоты и равны:

$$\psi_Д = 1{,}47 - 0{,}09\sqrt{f}, \tag{3.17}$$

$$\theta_Д = -10^{-3} + 5.1 \cdot 10^{-5} f^{2{,}45}, \tag{3.18}$$

при этом частота f выражена в ГГц.

Согласно методике предложенной в Рекомендациях МСЭ и рассчитанным данным, применительно к рассматриваемому случаю, получаем:

Для участка ЗС1-ИСЗ (линия вверх и линия вниз):

1) средняя высота нулевой изотермы и высота дождя формулы (3.9) и (3.10):

$$h_Е = h_Д = 5{,}1 - 2{,}151 \cdot \lg(1 + 10^{\frac{43{,}25^\circ - 27^\circ}{25^\circ}}) = 3{,}51 км$$

2) длина пути сигнала, по наклонной трассе от станции до высоты дождя:

$$d_Д = \frac{(3{,}51 - 0{,}681)}{\sin 0{,}59} = 5{,}085 км,$$ так как γ =43,25,

3) горизонтальная проекция наклонной трассы:

$$d_Г = d_Г \cdot \cos\gamma = 4{,}225 \text{ км},$$

4) фактор уменьшения, учитывающий неравномерность дождя для 0,01% времени:

$$r_{0.01} = \frac{90}{90 + 4 \cdot 2{,}534} = 0{,}899.$$

Для нахождения погонного ослабления найдем сначала коэффициенты $\psi_Д$ и $\theta_Д$, на частоте 14 ГГц:

$$\psi_Д = 1{,}47 - 0{,}09\sqrt{14} = 1{,}1333, \theta_Д = -10^{-3} + 5.1 \cdot 10^{-5} 14^{2{,}45} = 0{,}0318$$

на частоте 11 ГГц:

$$\psi_{Д} = 1{,}47 - 0{,}09\sqrt{11} = 1{,}1715, \theta_{Д} = -10^{-3} + 5.1 \cdot 10^{-5} 11^{2{,}45} = 0{,}0172,$$

тогда значение погонного ослабления в дожде $L'_{Д}$ при интенсивности 22мм/ч.

Коэффициенты $\psi_{Д}$ и $\theta_{Д}$ для ЗС2 те же, значение погонного ослабления в дожде $L'_{Д}$ для интенсивности $I_{д}$=22 мм/ч будет, на частоте 14 ГГц:

$$L'_{Д} = 0{,}0318 \cdot 22^{1{,}1333} = 1{,}089 \text{ дБ/км}$$

на частоте 11 ГГц:

$$L'_{Д} = 0{,}0172 \cdot 22^{1{,}1715} = 0{,}67 \text{ дБ/км}$$

в итоге имеем ослабление сигнала равное:
на частоте 14 ГГц:

$$L_{Д} = 1{,}054 \cdot 0{,}899 \cdot 7{,}55 = 7{,}154 \text{ дБ;}$$

на частоте 11 ГГц:

$$L_{Д} = 0{,}67 \cdot 0{,}899 \cdot 7{,}55 = 4{,}548 \text{ дБ.}$$

Для участка ЗС2-ИСЗ расчеты проведем в программной среде Mathcad 14 и полученные результаты для Ku-дмапазона занесем в таблицу 3.2, а результаты для Ka-диапазона занесем в таблицу 3.3

Таблица 3.2 – Результаты расчета ослабления уровня сигнала, вызванного дождем для ЗС1 и ЗС2 для Ku-диапазона

Земная станция	$h_{Е}$, км	$d_{Д}$, км	$d_{г}$, км	$r_{0.01}$	$\psi_{Д}$		$\theta_{Д}$		$L'_{Д}$, дБ/км		$L_{Д}$, дБ	
					14 ГГц	11 ГГц	14 ГГц	11 ГГц	14 ГГц	11 ГГц	14 ГГц	11 ГГц
Алматы	3,531	5,085	4,225	0,842	1,1333	1,1715	0,0318	0,0172	1,089	0,67	7,154	4,548
Морское судно	0,6	5,077	4,216	0,842	1,133	1,172	0,032	0,017	1,055	0,641	4,513	2,742

Таблица 3.3 – Результаты расчета ослабления уровня сигнала, вызванного дождем для ЗС1 и ЗС2 для Ka-диапазона

Земная станция	$h_{Е}$, км	$d_{Д}$, км	$d_{г}$, км	$r_{0.01}$	$\psi_{Д}$		$\theta_{Д}$		$L'_{Д}$, дБ/км		$L_{Д}$, дБ	
					30 ГГц	20 ГГц	30 ГГц	20 ГГц	30 ГГц	20 ГГц	30 ГГц	20 ГГц
Алматы	3,531	5,085	4,225	0,842	0,977	1,068	0,211	0,078	4,326	2,102	18,519	8,997
Морское судно	3,6	5,077	4,216	0,842	0,977	1,068	0,211	0,078	4,326	2,102	18,498	8,987

3.3.3 Расчет ослабления уровня сигнала, из-за рефракции и неточности наведения антенны на ИСЗ

Рефракция радиоволн приводит к образованию угла между истинным и кажущимся направлениями на спутник, в результате чего появляется дополнительное ослабление сигнала, вызванное неверным наведением антенны земной станции и спутника друг на друга. Угловое отклонение, вызванное рефракцией, составляет несколько десятых долей градуса и может быть скомпенсировано или сведено к минимуму предварительной коррекцией направленности антенн. При автоматическом наведении антенн по максимуму сигнала влияние рефракции практически исключается. Так как в диапазонах 14/11 ГГц и выше влияние рефракции пренебрежимо мало, то не будем его учитывать вообще. Однако дополнительно могут возникнуть потери из-за неточности наведения антенны, которые зависят от метода и конструкции (включая механическую часть) устройства наведения. Этот вид потерь носит неподдающийся оценке статистический характер, и может примерно на 0,2 дБ увеличить общие потери, таким образом:

$$L_{\text{н}} \approx 0{,}2\,\text{дБ}.$$

Поляризационные потери складываются из потерь, вызванных несогласованностью поляризации, потерь, связанных с эффектом Фарадея, и потерь из-за деполяризации радиоволн в осадках. Для частот выше 10ГГц в спутниковых системах используют линейную поляризацию, так как в этом случае поляризационные потери незначительны и ими можно пренебречь.

Окончательно, воспользовавшись выражением (3.5) получаем значение дополнительных потерь:

Ku-диапазон:

а) для ЗС линия вверх:

$L_{\text{доп}} = 0{,}096 + 4{,}513 + 0{,}2 = 4{,}809$ дБ или 3,026

б) для ЗС линия вниз:

$L_{\text{доп}} = 0{,}073 + 2{,}742 + 0{,}2 = 3{,}015$ дБ или 2,002

Ka-диапазон:

а) для ЗС линия вверх:

$L_{\text{доп}} = 0{,}303 + 18{,}519 + 0{,}2 = 19{,}022$ дБ или 79,836

б) для ЗС линия вниз:

$L_{\text{доп}} = 0{,}236 + 8{,}997 + 0{,}2 = 9{,}433$ дБ или 8,776

3.4 Энергетические характеристики радиолинии

Спутниковая радиолиния состоит из участка ЗС-ИСЗ линия вверх, ИСЗ-ЗС линия вниз. Для этих участков справедливы следующие соотношения:

для участка ЗС1-ИСЗ:

$$P_{\text{прд.ЗС}} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d_{\uparrow}^2 \cdot L_{\uparrow\text{доп}} \cdot P_{\text{ш.}\Sigma\text{КС}}}{\lambda_{\uparrow}^2 \cdot G_{\text{прд.ЗС}} \cdot G_{\text{пр.КС}} \cdot \eta_{\text{прд.ЗС}} \cdot \eta_{\text{пр.КС}}} \cdot a \cdot \left(\frac{P_C}{P_{Ш}}\right)_{\Sigma} \tag{3.19}$$

для участка ИСЗ-ЗС1

$$P_{\text{прд.КС}} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d_{\downarrow}^2 \cdot L_{\downarrow\text{доп}} \cdot P_{\text{ш.}\Sigma\text{ЗС}}}{\lambda_{\downarrow}^2 \cdot G_{\text{прд.КС}} \cdot G_{\text{пр.ЗС}} \cdot \eta_{\text{прд.КС}} \cdot \eta_{\text{пр.ЗС}}} \cdot b \cdot \left(\frac{P_C}{P_{Ш}}\right)_{\Sigma}, \tag{3.20}$$

где, $P_{\text{прд}}$ – мощность сигнала на выходе передатчика, дБ;

$G_{\text{прд}}$ – коэффициент усиления передатчика, дБ;

$\eta_{\text{прд}}$ – потери в антенно-волноводном тракте, дБ;

a- коэффициент запаса для линии вверх;

b- коэффициент запаса для линии вниз.

При расчётё энергетики радиолинии, необходимо принимать во внимание, не только основные потери L_0, но и дополнительные потери $L_{\text{доп}}$, которые также присутствуют на трассе ЗС – ИСЗ.

Мощность шума приемной системы бортового ретранслятора (БР) определяется по формуле:

$$P_{\text{ш.КС}} = k \cdot T_{\Sigma\text{КС}} \cdot \Delta f_{\text{ш.КС}}, \text{ Вт},$$

где $\Delta f_{\text{ш.КС}}$ - полоса пропускания ствола БР, Гц;

k - постоянная Больцмана 1,23*10^{-23} Вт/Гц;

$T_{\Sigma\text{КС}}$ - суммарная шумовая температура приемного тракта БР, К.

В описании ИСЗ указана добротность станции на прием Q, которая рассчитывается следующим образом:

$$Q = 10\lg\frac{G_{ПРМКС}}{T_{\Sigma КС}} = 16{,}7 \text{ , дБ/К.}$$

Используя это соотношение получим:

$$\frac{G_{ПРМКС}}{T_{\Sigma КС}} = 10^{\frac{16{,}7}{10}} = 46{,}774, \tag{4.21}$$

Отношение сигнал/шум для спутниковых линий связи выбирается из диапазона от 11 до 16 дБ. Так как проектируемая линия предназначена для передачи данных, можно использовать минимальное значение 11 дБ.

$$(\frac{P_C}{P_Ш})_\Sigma = 10^{\frac{11}{10}} = 10^{1,1} = 12,59.$$

На центральных земных станциях установим антенны диаметром 2,4 м.

Коэффициент усиления антенны определим по формуле:

1) Для Ku-диапазона:

$$G = \frac{q \cdot 10 \cdot D_A^2}{\lambda^2} = \frac{0.8 \cdot 10 \cdot 2.4^2}{0.021^2} = 103603,52 \text{ Дб}$$

2) Для Ka-диапазона:

$$G = \frac{q \cdot 10 \cdot D_A^2}{\lambda^2} = \frac{0.8 \cdot 10 \cdot 2.4^2}{0.015^2} = 204800 \text{ Дб}$$

Подставляя в уравнение (3.19) мощность шума приемной системы бортового ретранслятора и отношение (3.21) получим:

$$P_{\text{пер.ЗС}} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d_\uparrow^2 \cdot L_{\uparrow\text{доп}} \cdot k \cdot \Delta f_{\text{ш.КС}}}{\lambda_\uparrow^2 \cdot G_{\text{пер.ЗС}} \cdot \eta_{\text{пер.ЗС}} \cdot \eta_{\text{пр.КС}}} \cdot 10^{-\frac{Q}{10}} \cdot a \cdot \left(\frac{P_C}{P_Ш}\right)_\Sigma, \text{ Вт.}$$

Рассчитаем мощность передатчиков ЗС при работе с ИСЗ Intelsat 17 в программе Mathcad14:

Для Ku-диапазона:

$$P_{\text{пер.ЗС}} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d_\uparrow^2 \cdot L_{\uparrow\text{доп}} \cdot k \cdot \Delta f_{\text{ш.КС}}}{\lambda_\uparrow^2 \cdot \frac{q \cdot 10 \cdot D_A^2}{\lambda^2} \cdot \eta_{\text{пер.ЗС}} \cdot \eta_{\text{пр.КС}}} \cdot 10^{-\frac{Q}{10}} \cdot a \cdot \left(\frac{P_C}{P_Ш}\right) = 24,362 Вт$$

Для Ka-диапазона:

$$P_{\text{пер.ЗС}} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d_\uparrow^2 \cdot L_{\uparrow\text{доп}} \cdot k \cdot \Delta f_{\text{ш.КС}}}{\lambda_\uparrow^2 \cdot \frac{q \cdot 10 \cdot D_A^2}{\lambda^2} \cdot \eta_{\text{пер.ЗС}} \cdot \eta_{\text{пр.КС}}} \cdot 10^{-\frac{Q}{10}} \cdot a \cdot \left(\frac{P_C}{P_Ш}\right) = 62,212 Вт$$

Результаты расчетов позволяют выбрать передатчики ЗС мощностью 25 Вт для Ku-диапазона, и 63 Вт для Ka-диапазона, что обеспечит заданное отношение сигнал/шум и небольшой энергетический запас.

3.5 Расчет необходимого диаметра антенн приемных земных станций

Мощность передатчика КС известна, поэтому из уравнения для мощности передатчика КС выразим коэффициент усиления антенны приемной земной станции, обеспечивающий требуемой отношение сигнал шум на спутниковой линии.

$$G_{ПРМЗС} = \frac{L_{0\downarrow} L_{\downarrow доп} \cdot P_{ш.\Sigma ЗС} \cdot b}{G_{пер.ИСЗ} \cdot P_{ПРДКС} \cdot \eta_{пер.ИСЗ} \cdot \eta_{пр.ЗС}} \cdot \left(\frac{P_C}{P_Ш} \right)_{\Sigma}$$

В технических данных бортового ретранслятора указывается Эффективно-изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ), которая определяется по следующей формуле:

$$ЭИИМ_{КС} = G_{ПРДКС} \cdot P_{ПРДКС} \cdot \eta_{ПРДКС}, Вт$$

Подставив данное выражение в формулу расчета коэффициента усиления антенны, получим следующее упрощенное уравнение:

$$G_{ПРМЗС} = \frac{L_{0\downarrow} L_{\downarrow доп} \cdot P_{ш.\Sigma ЗС} \cdot b}{ЭИИМ_{КС} \cdot \eta_{пр.ЗС}} \cdot \left(\frac{P_C}{P_Ш} \right)_{\Sigma}.$$

Согласно данным о бортовых ретрансляторах ЭИИМ будет равна:

$ЭИИМ1 = 10^{\frac{47}{10}} = 50118{,}72$ Вт,

$ЭИИМ2 = 10^{\frac{49}{10}} = 79432{,}82$ Вт.

3.5.1 Расчет мощности шума приемной земной станции

Шумовые факторы играют главную роль при проектировании спутниковых радиолиний, в расчётах спутниковых радиолиний важно определить полную мощность шумов, создаваемых на входе приемного устройства земной станции различными источниками.

Суммарную мощность шумов на входе приемника, можно определить, используя формулу 3.22:

$$P_{Ш\Sigma} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{ш}, \qquad (3.22)$$

где k – постоянная Больцмана, равная $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц·К;

T_{Σ} – полная эквивалентная шумовая температура приемной системы, К;

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

Полная эквивалентная шумовая температура приемной системы, состоящей из антенны, волноводного тракта и собственно приемника, пересчитанная к входу приемника:

$$T_{\Sigma} = T_{А}\eta_{в} + T_{0}(1-\eta_{в}) + T_{ПР}, \qquad (3.23)$$

где T_{Σ} – полная эквивалентная шумовая температура приемной системы, К;

$T_{А}$ – эквивалентная шумовая температура антенны;

T_{0} – абсолютная температура среды (290 К);

$\eta_{в}$ – коэффициент передачи волноводного тракта;

$T_{ПР}$ – эквивалентная шумовая температура собственно приемника, обусловленная его внутренними шумами, определяется как:

$$T_{ПР} = T_{0}\left(K_{ш} - 1\right)$$

где $K_{ш}$ – коэффициент шума приемника, задан в характеристике оборудования.

Эквивалентная шумовая температура антенны может быть представлена в виде составляющих:

$$T_{А} = T_{к} + T_{а} + T_{з} + T_{а.з} + T_{ш.А}, \qquad (3.24)$$

где $T_{к}$ – шумовая температура антенны, обусловленная приемом космического радиоизлучения, К;

$T_{а}$ – шумовая температура антенны, обусловленная излучением атмосферы с учетом гидрометеоров, К;

$T_{з}$ – шумовая температура антенны, обусловленная излучением земной поверхности, принимаемым через боковые лепестки антенны, К;

$T_{а.з}$ – шумовая температура антенны, обусловленная приемом излучения атмосферы, отраженного от Земли, К;

$T_{ш.А}$ – шумовая температура антенны, обусловленная собственными шумами антенны из-за наличия потерь в ее элементах, К.

3.6 Расчет шумов вызванных влиянием атмосферы, планет и тепловым излучением Земли.

Учитывая термодинамические закономерности, понятие усредненной или эффективной температуры излучения и приняв усиление антенны в пределах главного лепестка постоянным и равным $G_{гл}$, а в пределах задних и боковых лепестков также постоянным и равным $G_{бок}$ получим:

$$T_{\text{А}} = \frac{G_{\text{ГЛ}}}{4\pi} \int\limits_{\Omega_{\text{гл}}} T_{\text{я}}(\gamma,\psi)\, d\Omega + \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^{n} \int\limits_{\Omega_{\text{бок}}} G_{\text{бок i}} \cdot T_{\text{я}}(\gamma,\psi)\, d\Omega$$

где $T_{\text{я}}(\gamma,\psi)$ – яркостная температура излучения в направлении β,ψ в сферической системе координат;

$\Omega_{\text{ГЛ}}$ – телесный угол главного лепестка, град;

$\Omega_{\text{БОК}}$ – телесный угол боковых лепестков, град.

Решая это выражение для всех составляющих шума (3.24), получим:

1) для антенны ЗС:

$$T_{A\,\text{ЗС}} = T_{\text{я.к}}(\gamma) + T_{\text{я.а}}(\gamma) + c(T_{\text{я.з}} + T_{\text{я.а.з}}) + T_{ш.А} + T_{об}(\gamma), \qquad (3.25)$$

2) для антенны бортового ретранслятора ИСЗ:

$$T_{A\,\text{ИСЗ}} = T_{\text{я.а}} + T_{\text{я.з}} + 2cT_{\text{я.к}} + T_{ш.А}, \qquad (3.26)$$

где $T_{\text{я.к}}(\gamma)$ – яркостная температура антенны, обусловленная приемом космического радиоизлучения, К;

$T_{\text{я.а}}(\gamma)$ – яркостная температура антенны, обусловленная излучением атмосферы с учетом дождя, К;

$T_{\text{я.з}}$ – яркостная температура антенны, обусловленная излучением земной поверхности, принимаемым через боковые лепестки антенны, К;

$T_{\text{я.а.з}}$ – яркостная температура антенны, обусловленная приемом излучения атмосферы, отраженного от Земли, К;

$T_{\text{ш.А}}$ – шумовая температура антенны, обусловленная собственными шумами антенны из-за наличия потерь в ее элементах, К;

c – коэффициент, учитывающий интегральный уровень энергии боковых лепестков (таблица 3.4)[14].

Таблица 3.4 – Количественная оценка величины c для различных типов антенн в зависимости от формы облучения поверхности зеркала антенны

Направление излучения	Значение c при снижении облучения к краям зеркала	
	6 дБ	10 дБ
В главном лепестке	0,59	0,81
В боковых лепестках передней полусферы	0,03	0,04
В боковых лепестках задней полусферы	0,38	0,15
Во всей сфере за исключением гл. лепестка	0,41	0,19

Из (3.25) следует, что первая составляющая температуры шумов антенны определяется яркостной температурой космического пространства.

Основу его составляет радиоизлучение Галактики и точечных радиоисточников, таких как Солнце, Луна, ближайшие планеты и звезды.

Частотная характеристика усредненных по небесной сфере значений $T_{я.к}$ показана на рисунке 3.2, из которого следует, что космическое излучение существенно на частотах ниже 4...6 ГГц; на частотах выше 6 ГГц космическое излучение несущественно и его можно не учитывать вообще.

Излучение Галактики имеет сплошной спектр и слабо поляризовано; поэтому при приеме его на поляризованную антенну (с любым видом поляризации) можно с достаточной степенью точности считать, что принимаемое излучение будет половиной интенсивности (т.е. принимается 1/2 всей мощности излучения, попадающей в раскрыв антенны).

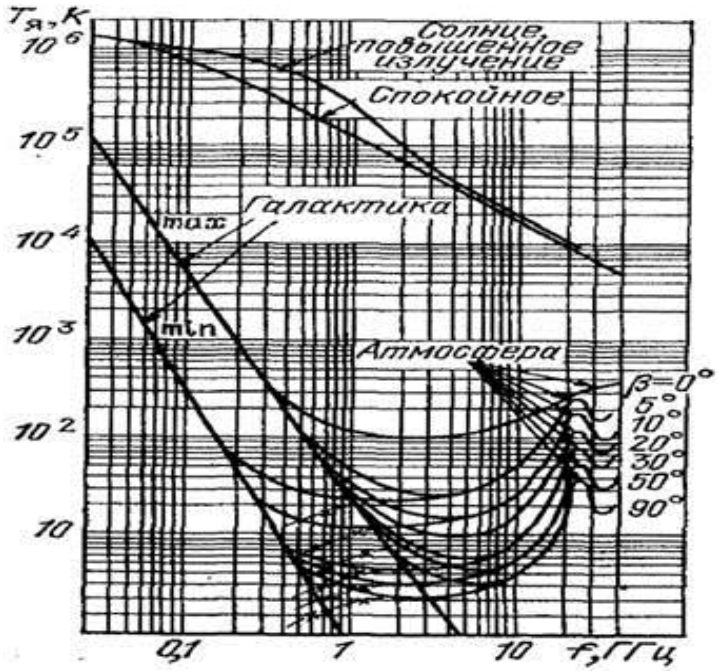


Рисунок 3.3 – Частотная зависимость шумовой температуры Галактики, Солнца и атмосферы (без дождя)

На рисунке 3.3 показан вклад излучения Солнца в спокойном состоянии (в годы минимума активности) и в состоянии «возмущения», в годы максимума активности. Поэтому можно принять яркостную температуру космоса раной $T_к$=20 К.

Радиоизлучение земной атмосферы имеет тепловой характер и в полной мере обусловлено рассмотренным в предыдущем разделе поглощением сигналов в атмосфере. В силу термодинамического равновесия среда (атмосфера) излучает такое же количество энергии на данной частоте, которое поглощает соответственно:

$$T_{я.а} = \frac{T_{а\,ср}(L_а - 1)}{L_а}.$$

Как показывают расчеты для стандартной атмосферы, средняя термодинамическая температура атмосферы для углов места β≥5° в рассматриваемых диапазонах частот

$$T_{\text{а ср}} \approx T_0 - 32 \approx 260\ \text{К}.$$

Яркостную температуру спокойной атмосферы (без дождя) можно найти, воспользовавшись найденными ранее значениями $L_{\text{а}}$.

Влияние осадков можно учесть по той же методике, т.е. определить $T_{\text{я.а}}$ через потери в дожде $L_{\text{д}}$. Хотя ряд исследований показывает, что непосредственная корреляция между интенсивностью дождя и температурой неба невелика (т.е. может наблюдаться повышение шумовой температуры неба из-за дождевых туч, когда собственно дождь не выпадает), тем не менее, корреляция с многолетней статистикой дождя все же имеется.

Раздельное вычисление температуры спокойного неба и температуры дождя с последующим их суммированием приведет к ошибке (примерно удвоит результат), поэтому вычисление следует проводить по формуле 3.27:

$$T_{\text{я.а}} = \frac{T_{\text{а ср}}(L_{\text{а}} L_{\text{д}} - 1)}{L_{\text{а}} L_{\text{д}}}. \qquad (3.27)$$

где $L_{\text{а}}$ – поглощение радиоволн в атмосфере, в разах;

$L_{\text{д}}$ – поглощение радиоволн в дожде, в разах.

На рисунке 3.4 представлены примерные зависимости шумовой температуры атмосферы (с учётом дождя), при различных углах места, по этим графикам можно приближенно сравнить, полученные расчётным путем данные. Максимальная температура шумов неба не превышает 260 К и начинает играть существенную роль в диапазонах частот выше 5 ГГц.

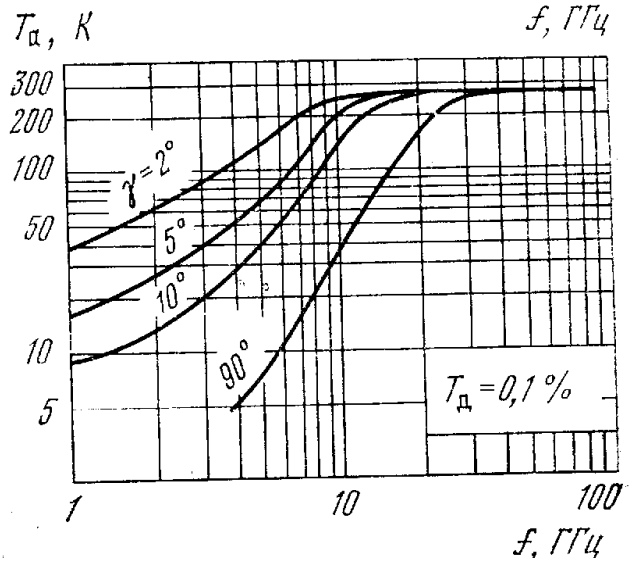


Рисунок 3.4 – Частотная зависимость шумовой температуры атмосферы (с учётом дождя)

Яркостная температура Земли определяется ее кинетической температурой $T_{0з}$=290 К и коэффициентом отражения электромагнитной энергии от поверхности Земли:

$$T_{я.з} = T_{0\,з}(1-\Phi)^2, \qquad (3.28)$$

где $T_{я.з}$ – яркостная температура Земли, К;

$T_{0\,з}$ – кинетическая температура Земли, К;

Φ – комплексный коэффициент отражения, безразмерная величина.

Комплексный коэффициент отражения определяется известными формулами Френеля:

1) для горизонтальной поляризации

$$\Phi_{\Gamma} = \frac{\sin\gamma - \sqrt{\varepsilon + j60\sigma\lambda - \cos^2\gamma}}{\sin\gamma + \sqrt{\varepsilon + j60\sigma\lambda - \cos^2\gamma}}$$

2) для вертикальной поляризации

$$\Phi_{B} = \frac{(\varepsilon + j60\sigma\lambda)\sin\gamma - \sqrt{\varepsilon + j60\sigma\lambda - \cos^2\gamma}}{(\varepsilon + j60\sigma\lambda)\sin\gamma + \sqrt{\varepsilon + j60\sigma\lambda - \cos^2\gamma}}$$

где γ – угол места ЗС, град.;

λ – длина волны системы, м;

ε – диэлектрическая проницаемость Земли, безразмерна;

σ – электропроводимость Земли, См/м.

Значения ε и σ для некоторых видов земной поверхности приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значения ε и σ для некоторых видов земной поверхности

Вид земной поверхности	ε	σ, См/м
Пресная вода	80	$10^{-3}\ldots5\cdot10^{-3}$
Влажная почва	5...30	$10^{-2}\ldots10^{-3}$
Сухая почва	2...6	$10^{-4}\ldots10^{-5}$

Представленные оценки справедливы при зеркальном отражении, тогда как на высоких частотах, где размеры отражающих поверхностей соизмеримы с длиной волны, большой вес будет иметь диффузная компонента, определяемая кинетической температурой Земли равная 290 К.

При определении величины $T_{я.з}$, входящей в формулу (3.26) для бортовой антенны, следует учитывать вид и характер земной поверхности, попадающей в зону видимости этой антенны. Для бортовых антенн с глобальным охватом следует принимать $T_{я.з} \approx 260$ К; для антенн с узкими лучами $T_{я.з}$ может составлять 100…260 К.

Яркостная температура излучения атмосферы, отраженного от земли, определяется как:

$$T_{я.а.з} = T_{я.а}\Phi^2 \qquad (3.29)$$

На частотах выше 15 ГГц $T_{а.з} \approx T_{0\,з} \approx 290$ К, следует что:

$$T_{я.з} + T_{я.а.з} \approx 290\,\text{К}, \qquad (3.30)$$

т.е. отраженная от Земли компонента атмосферных шумов дополняет термодинамическое излучение Земли, и в сумме они дают излучение с яркостной температурой, близкой к 290 К.

Рассмотрим еще одну составляющую шумов антенны в формулах (3.25) и (3.26), обусловленную омическими потерями в антенне:

$$T_{ш\,А} = \frac{T_0(L_м - 1)}{L_м}, \qquad (3.31)$$

где T_0 – кинетическая температура Земли равная 290 К;

$L_м$ – потери в материале зеркала антенны, дБ.

Современные металлические зеркальные антенны имеют весьма низкие потери, поэтому значения $T_{шА}$ весьма малы и составляют на разных частотах значения, указанные в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Зависимость шумов антенны, обусловленных омическими потерями в антенне от частоты

f, ГГц	0,3	1	3	10	30	60
$T_{шА}$, К	0,018	0,04	0,06	0,09	0,18	0,3

Окончательно, располагая имеющимися данными, согласно приведенным формулам, произведем расчет всех составляющих шума для антенн ИСЗ, ЗС1.

Произведем расчёт для антенны ЗС1 (г. Алматы):

Определим яркостную температуру атмосферы с учётом того, что затухания $L_а$ и $L_д$ берутся для линии вниз (так как нас интересует приемная часть антенны):

$$T_{я.а} = \frac{260(1{,}022 \cdot 2{,}85 - 1)}{1{,}022 \cdot 2{,}85} = 190{,}436 \text{ К};$$

сравнивая с рисунком 3.4, убеждаемся в правильности вычисления.

Яркостная температура Земли в итоге равна:

$$T_{я.з} = 290(1 - 0{,}1288)^2 = 220{,}1144 \text{ К}.$$

Яркостная температура излучения атмосферы, отраженного от земли:

$$T_{я.а.з} = 220{,}144 \cdot 0{,}1288^2 = 220{,}1144 \cdot 0{,}0166 = 3{,}6507 \text{ К}.$$

И в итоге суммируя, приняв шумы антенны, обусловленные омическими потерями примем равными 0,1 К (по таблице 3.6) и коэффициент, учитывающий интегральный уровень энергии боковых лепестков c = 0,2 (по таблице 3.4), получаем значение эквивалентной шумовой температуры для антенны ЗС1:

$$T_{АЗС} = 20 + 190{,}436 + 0{,}2(220{,}1144 + 3{,}6507) + 0{,}1 = 255{,}289 K,$$

Рассчитаем эквивалентную шумовую температуру приемников ЗС. Для земных станций она будет одинакова, так как применяется однотипное оборудование.

Для земных станций:

$$T_{ПР} = 290(2{,}5 - 1) = 434 \text{ К}.$$

Таким образом, полная эквивалентная шумовая температура приемной системы, состоящей из антенны, волноводного тракта и собственно приемника, пересчитанная к входу приемника будет равна:

для ЗС1:

$$T_{\Sigma} = 255{,}289 \cdot 0{,}8 + 290(1 - 0{,}8) + 434 = 696{,}231 \text{ К.}$$

Суммарную мощность шумов на входе приемников ЗС определим:

$$P_{Ш\Sigma} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 696{,}231 \cdot 24 \cdot 10^{6} = 2{,}306 \cdot 10^{-13} \text{ Вт.}$$

Подставляя известные величины получим для ЗС1 (г. Алматы)

$$G_{ПРМЗС} = \frac{L_{0\downarrow} L_{\downarrow доп} \cdot P_{ш.\Sigma ЗС} \cdot b}{ЭИИМ_{КС} \cdot \eta_{пр.ЗС}} \cdot \left(\frac{P_C}{P_Ш} \right)_{\Sigma} =$$

$$= \frac{3{,}33 \cdot 10^{20} \cdot 3{,}015 \cdot 2{,}306 \cdot 10^{-13} \cdot 1{,}26 \cdot 12{,}59}{79432{,}82 \cdot 0{,}9} = 51370$$

Диаметр антенны ЗС1 (г. Алматы):

$$D_A = \sqrt{G_{ПРМЗС} \cdot \lambda_{\downarrow}^2 / 8} = \sqrt{51370 \cdot 0{,}0267^2 / 8} = 2{,}14 \text{ м.}$$

Результаты расчетов для двух ЗС в таблице 3.7

Таблица 3.7 – Рассчитанные диаметры антенн ЗС.

ЗС	G ЗС (Intelsat 704)	$D_{ПРМ\ А}$,м
Алматы	51370	2,14
Морское судно	48300	2,075

Анализируя полученные результаты расчетов для приемных земных станций можно выбрать антенны диаметром более 2,2м.

Так как расчет для линии вверх проводился для антенн диаметром 2,4 м, а антенна будет использоваться как на прием так и на передачу остановимся на диаметре 2,4 м.

Антенны выбранного диаметра обеспечат запас мощности принимаемого сигнала и возможность увеличения пропускной способности каналов. Выберем антенны фирмы SVEC. На рисунке 3.5 внешний вид антенны и ее технические характеристики.

Модель	S240
Количество секций	6
Диаметр	240 cm
C-band усиление	38.39 dB
Ku-band усиление	48.04 dB
Отношение F/D	0.385
Фокусное расстояние	46.2 cm

Рисунок 3.5 - Внешний вид антенны и ее технические характеристики.

3.7 Расчет мощности в точке приема антенны

Произведем расчет мощности в точке приема антенны и построим ее зависимость от диаметра антенны:

$$P_{прм} = ЭИИМ + G_{ЗС} - L_0 - L_{ДОП} - \eta_{ЗС} + \eta_{КС}$$

$$P_{прм} = 49 + 47{,}107 - 207{,}423 - 4{,}809 - 0{,}9 - 0{,}9 = -117{,}925 \text{ дБ}$$

Чувствительность приемников сигнала составляет для небольших скоростей - -92 дБ [для 1 Мб/с], а для высоких - -66 дБ [для 54 Мб/с]. Для обеспечения практической надежности связи суммарное усиление системы при расчетах уменьшают на величину SOM (System Operating Margin) – запас по энергетике (обычно берется равным 10 дБ), учитывающий возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;
- всевозможные атмосферные явления: туман, снег, дождь;
- рассогласование антенны, приемника, передатчика с антенно-фидерным трактом;

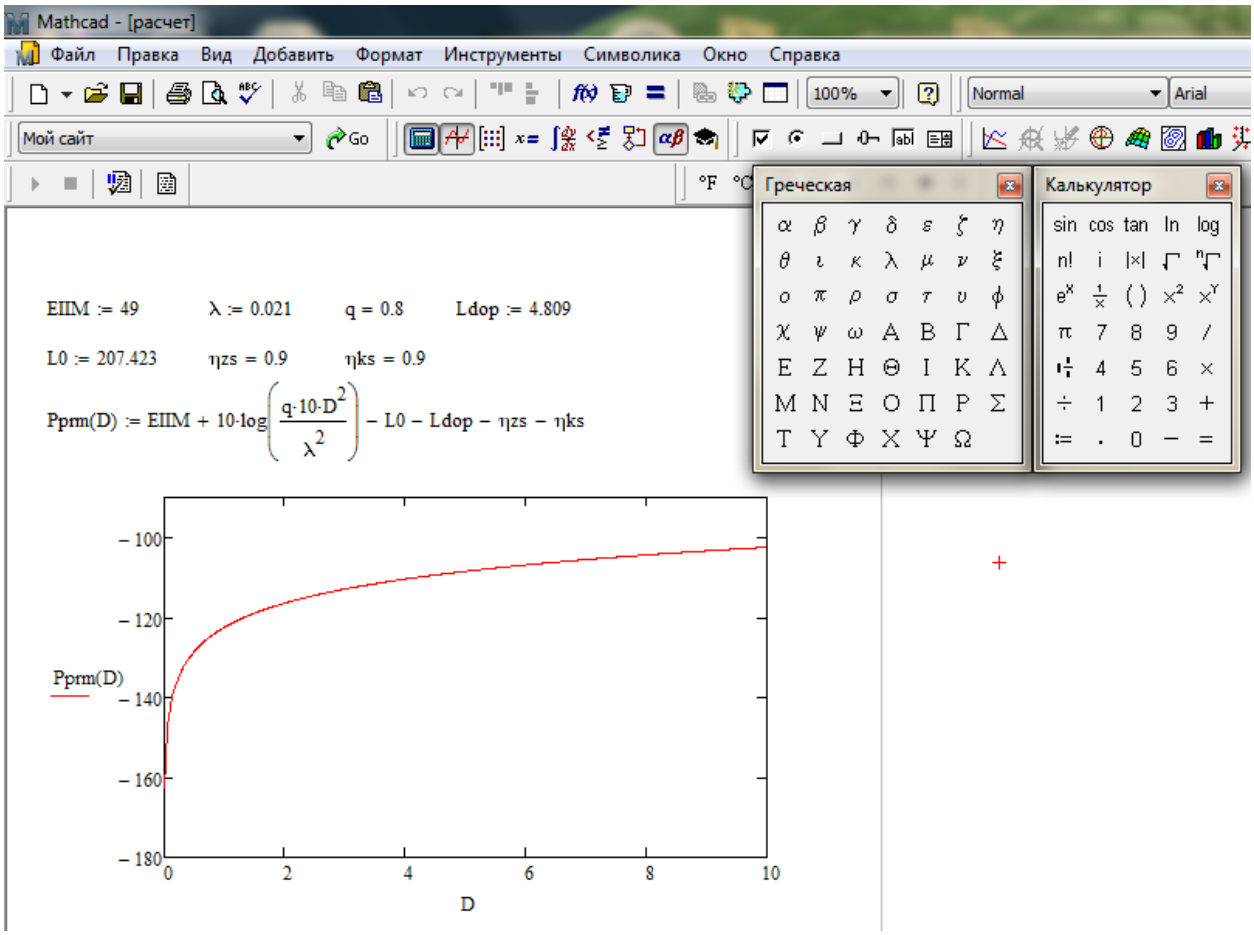


Рисунок 3.7 – График зависимости мощности в точке приема антенны от ее диаметра

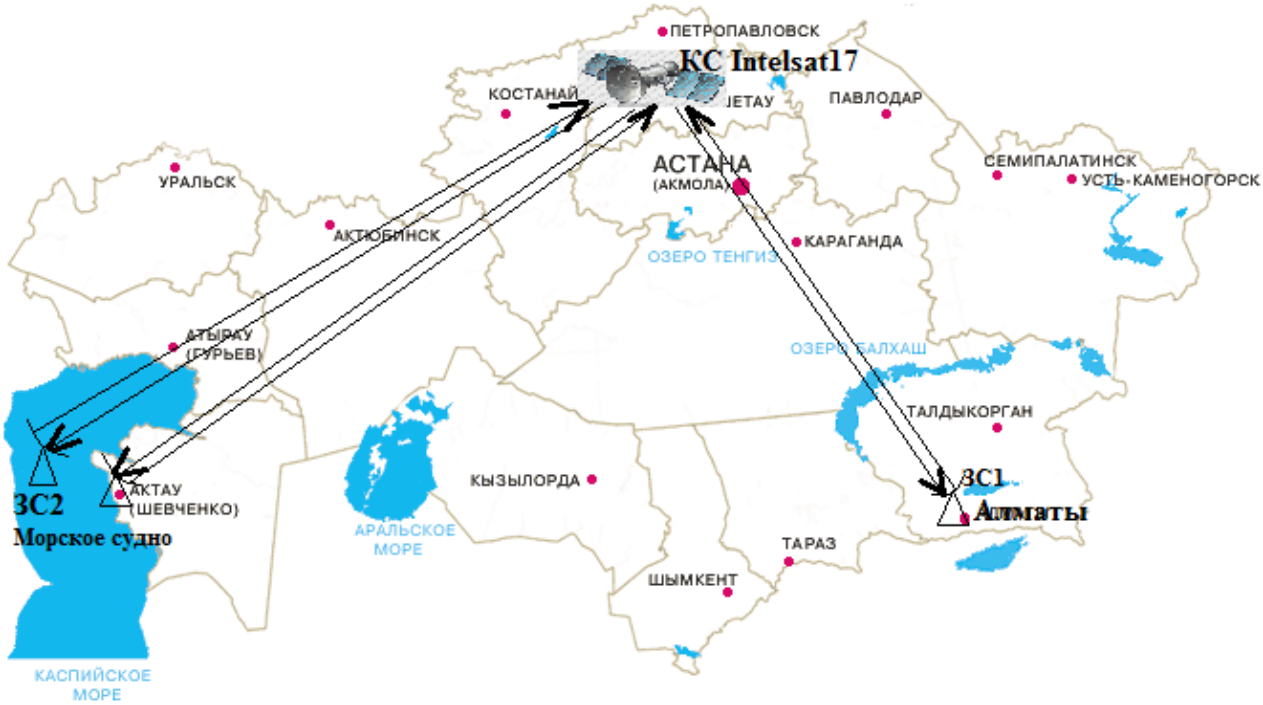


Рисунок 3.8 – Схема построения системы передачи данных

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда

4.1.1 Анализ помещения

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.

Предполагается, что здание рассчитано для 6 человек. В дневную смену в операторской работают 4 человека: оператор по работе с клиентами, инженер системы передачи данных, начальник отдела, сменный оператор центра управления сетью. В ночную смену в операторской работает сменный оператор центра управления сетью. В диспетчерской находится оборудование и 2 места для специалистов. Так же имеются уборные для мужчин и женщин. План приведен на рисунке 4.1.

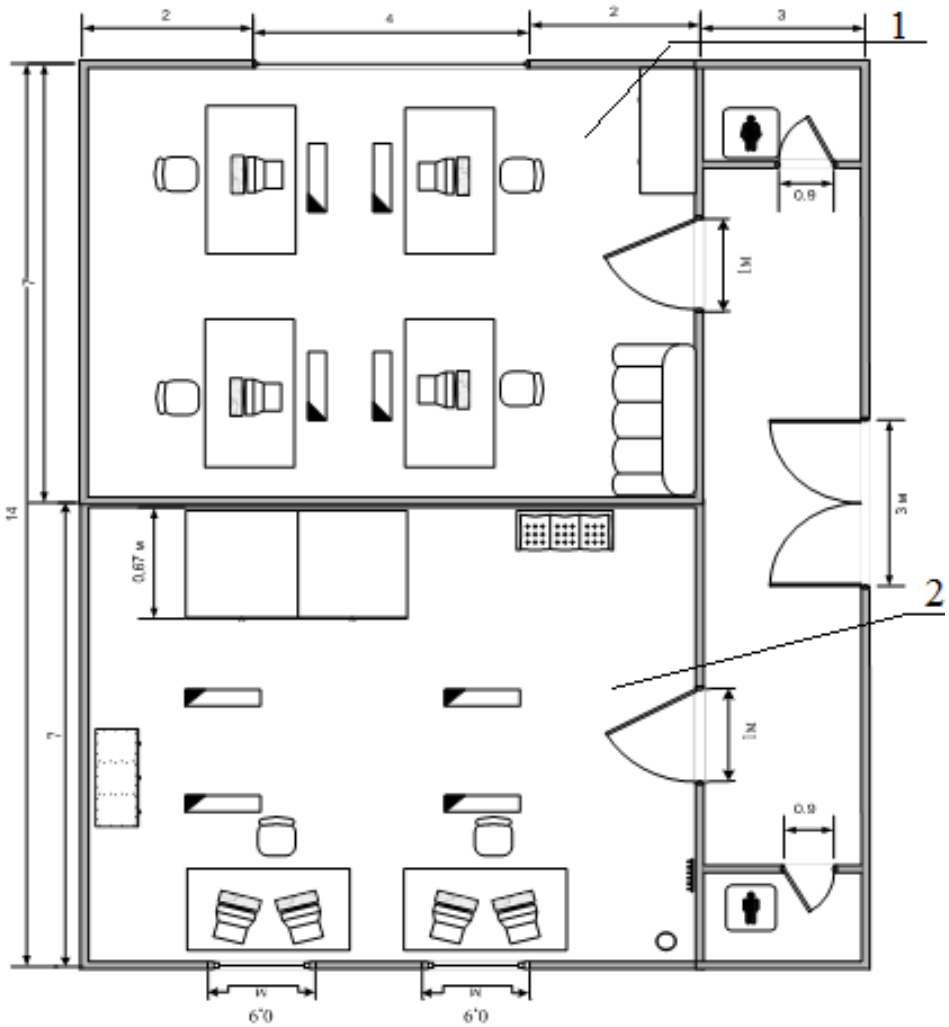


Рисунок 4.1 – Общий план производственного здания

1- операторская
2- диспетчерская

Сервера системы управления являются централизованным хранилищем конфигураций и статистических данных всех сетей, обслуживаемых центральной земной станцией связи (ЦСЗС). Используется сервер Dell PowerEdge T710 (рисунок 4.2) мощностью 1100 Вт. Имеется два блока питания с возможностью горячей замены. Диапазон напряжений: 100—240 В~, 50/60 Гц. Сервер T710 устанавливается в стойку Tower (установка в стойку форм-фактора 5U). Габариты корпуса: высота 47 см, длина 73 см, ширина 22 см, весом 35,3 кг. Так же имеется поддержка полного выдвижения системы из стойки для обслуживания основных внутренних компонентов.

С точки зрения безопасности жизнедеятельности данный тип оборудования не является источником вредного излучения для человека, также оно не является источником повышенной пожарной опасности и шума. Для защиты человека от поражения электрическим током.

Рисунок 4.2 – Сервер Dell PowerEdge T710

Произведём анализ условий труда в операторской, прямоугольной формы, представляет собой комнату с одной дверью и четырьмя окнами направленные, общей площадью $S_{ок}$ = 4 м^2. Размеры помещения составляют 8 х 7 х 3 м. В данном помещении потолок выбелен (ρ=0,7), стены покрашены в светло-бежевый цвет с коэффициентом отражения (ρ = 0,5), напольный кафель светлого цвета (ρ=0,3). Искусственное освещение в помещении осуществляется с использованием люминесцентных ламп мощностью 40 Вт со световым потоком 3120 лм в светильниках общего освещения (тип светильника – ПВЛМ 2×40). В помещении имеется 4 светильника, в каждой из которых по 2 две лампы - это 55 лк.

$$Лк = \frac{Лм}{м^2} = \frac{3120}{56} = 55Лк$$

Для обеспечения работы III -го разряда зрительных работ необходимо освещение в 300 лк, поэтому необходимо сделать расчет искусственного освещения.

Помимо персонального компьютера в помещении находятся стулья, столы, тумбы.

Схема производственного помещения изображена на рисунке 4.3.

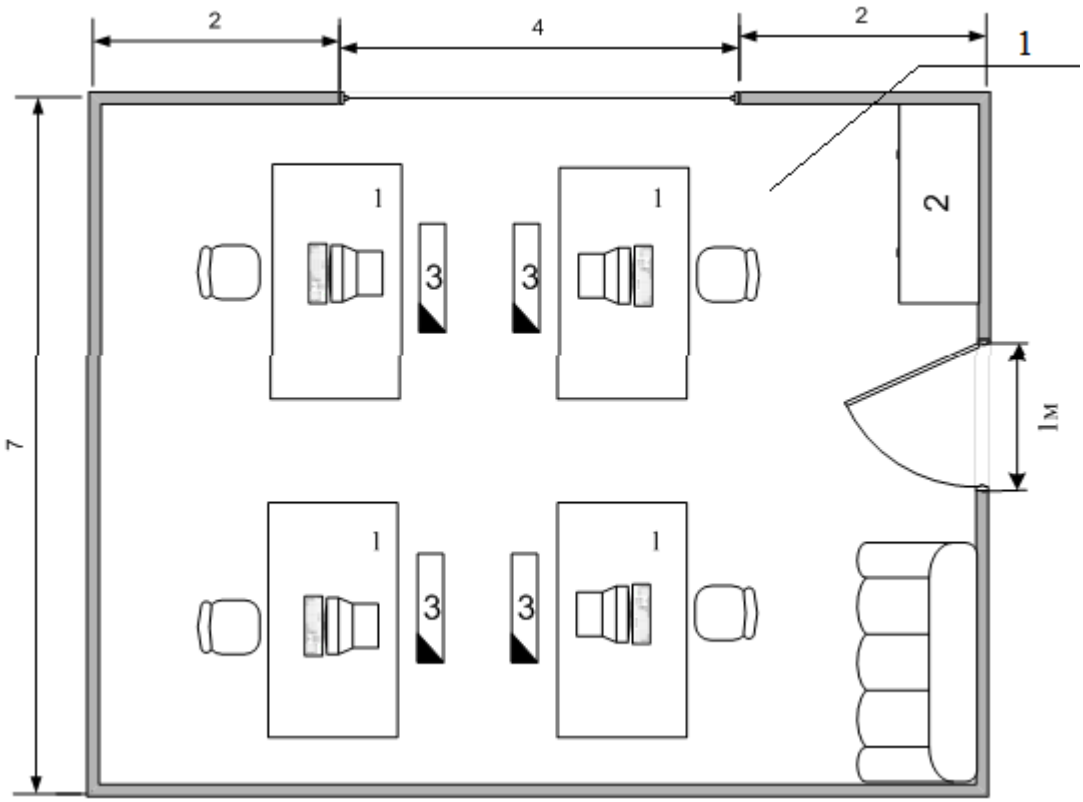


Рисунок 4.3 - Схема операторской

1- рабочее место специалиста
2- шкаф для документации
3- светильники

Персональный компьютер установлен и размещен в соответствии с требованиями условий заводов-изготовителей и настоящих требований.

Для сотрудников созданы комфортные условия труда, такие как рабочее место и состояние внутренней среды помещения, обеспечивающие оптимальную динамику работоспособности, хорошее самочувствие и сохранение их здоровья.

Важным моментом организации рабочего места является определение занимаемой работником площади, которая позволяет удобно производительно проводить трудовой процесс. Площадь на одно рабочее место – не менее 6 м². В данном помещении на одно рабочее место приходится 14 м^2 рабочего пространства, а объем составляет 42м^3. Организация рабочего места соответствует требованиям, изложенных в санитарных нормах и правилах.

Категория работы на объекте относится к категории 1б (легкой физической тяжести), то есть производится стоя, сидя или связана с ходьбой и сопровождающаяся некоторым физическим напряжением, при котором выделяется энергия, которая составляет от 140 до 174 Дж·с[15].

Так как администратор работает в помещении с персональным компьютером, то минимальная освещенность светильника должна быть равна 300 лк [15]. Отсюда следует, что в соответствии со СНиП РК 2.04-05-2002[16] работу оператора можно отнести к работе со средней точностью (наименьший размер объекта различения от 0,5 до 1 мм) III -го разряда зрительной работы, со средней контрастностью объекта различения символов на экране дисплеев), с темным фоном (подразряд зрительной работы Б).

Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой пользователя, высокой напряженностью зрительной работы и достаточно большой нагрузкой на мышцы рук при работе с клавиатурой ПЭВМ. Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места, что важно для поддержания оптимальной рабочей позы человека пользователя.

Задача точного отображения различного характера информации (программ и сопроводительных документов) на мониторе компьютера требует активизации внимания. Поэтому здесь следует отметить то, что при работе такого характера, освещение помещений должно быть достаточным. В противном случае, у администратора будут отмечаться значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках. В связи с эти необходимо произвести расчет освящения рабочего места.

4.2 Анализ системы освещения рабочего места

4.2.1 Расчет естественного освещения

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение.

При проектировании новых помещений, при реконструкции старых, при проектировании естественного освещения помещений судна и других объектов необходимо определить площадь световых проемов, обеспечивающих нормированное значение КЕО в соответствии с требованиями СНиП РК 2.04-05-2002 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» [16].

Расчет заключается в предварительном определении площади световых проемов при боковом освещении по следующей формуле

$$100\frac{S_o}{S_п} = \frac{e_н K_з \eta_o}{\tau_o r_1} K_{зд}, \qquad (4.1)$$

где S_o - площадь световых проемов при боковом освещении, м^2;

$S_п$ - площадь пола помещения, м^2.

Определим площадь пола

$$S_n = L \cdot B = 7 \cdot 8 = 56 м^2, \quad (4.2)$$

где $e_н$ – нормируемое значение КЕО.

Нормированные значения КЕО e_N для зданий, располагаемых в различных районах следует определять по формуле

$$e = e_н^N \cdot m = 1{,}2 \cdot 0{,}65 = 0{,}78 \quad (4.3)$$

где N – разряд зрительных работ;

$e^N_н$ = 1,2 - значение КЕО при боковом естественном освещении по таблице 3.12 [17];

m = 0,65 - коэффициент светового климата Алматы в наружных стенах с юга по таблице 3.1 [17];

$К_з$ = 1,2 – коэффициент запаса при вертикальном расположении светопропускаемого материала, принимают по таблице 3.11 [15].

Глубина помещения при одностороннем освещении

$$l = B - 1 = 6 м \quad (4.4)$$

$$\frac{L}{l} = \frac{8}{6} = 1{,}3 \text{ и } \frac{l}{h_{расч}} = \frac{l}{(h_{ок} + h_{нок}) - h_{рп}} = \frac{6}{(1+1) - 0{,}8} = 5,$$

где η_o = 24,12 - световая характеристика окон, принимают по таблице 3.2 [17];

$h_{рп} = (0{,}8 \div 1) м$;

τ_o - общий коэффициент светопропускания, определяют по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4, \quad (4.5)$$

где τ_1 - коэффициент светопропускания материала, принимают по таблице 3.3 [17]; $\tau_1 = 0{,}8$ – для стекла оконного листового двойного;

τ_2 - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема, принимают по таблице 3,4 [15]; $\tau_2 = 0{,}6$ – переплеты стальные двойные открывающиеся;

τ_3 - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, при боковом освещении равен 1, при верхнем освещении

принимают по таблице 3.5 [15]; $\tau_3 = 0{,}8$ – железобетонные и деревянные формы;

τ_4 - коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, принимают по таблице 3.6 [15]; $\tau_4 = 1$ – жалюзи и шторы.

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 = 0{,}38.$$

Определим $\frac{L}{l} = 1{,}3$ и $\rho = (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)/3 = (70 + 50 + 30)/3 = 50\% = 0{,}5$ (4.6)

$К_{зд}$ - коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями. Так как напротив окон лаборатории отсутствуют здания, то принимаем $К_{зд}$=1.

$$S_o = \frac{S_п e_н \eta_0 K_{зд} K_з}{100 \tau_o r_1} = \frac{56 \cdot 0{,}98 \cdot 24{,}12 \cdot 1{,}2 \cdot 1}{100 \cdot 6{,}25 \cdot 0{,}38} = 6{,}68 м^2 \approx 7 м^2. \quad (4.7)$$

Теперь разделим полученную площадь одного окна на его высоту и получим

$$l_{ok} = \frac{S_{ok}}{h_{ok}} = 7/1 = 7 м. \quad (4.8)$$

Таким образом, для обеспечения необходимой освещенности в лаборатории были рассчитаны площадь боковых световых проемов, необходимой для создания нормируемой освещенности на рабочих местах для разряда зрительной работы III, б. Так как в помещении имеются окна площадью $S_{ок}$=4 м^2, а рассчитанное значение площади боковых проемов получилось равным 7 м^2, то требуются дополнительные источники света, т.е. необходимо провести расчет искусственного освещения.

4.2.2 Расчет искусственного освещения

Для помещений, в которых предусматривается общее равномерное освещение горизонтальных поверхностей, освещение рассчитывают методом коэффициента использования светового потока. По этому методу расчетную освещенность на горизонтальной поверхности определяют с учетом светового потока, падающего от светильников непосредственно на поверхность и отраженного света от стен, потолка и самой поверхности. Рассчитаем количество светильников методом коэффициента использования, необходимых для создания освещенности в 300 лк, которая является достаточной для обеспечения III -го разряда зрительных работ.

Количество светильников можно определить по формуле

$$N = \frac{S_{помещ} \cdot K_З \cdot Z \cdot E_Н}{F_Л \cdot n \cdot \eta}, \qquad (4.9)$$

где Z – коэффициент минимальной освещенности (отношение средней и минимальной освещенности). В расчетах коэффициент z принимается в пределах 1,1÷1,2;

n = 2 – количество ламп в светильнике;

η – коэффициент использования, зависящий от коэффициентов отражения и индекса помещения.

Определим высоту подвеса светильников над рабочим местом

$$h_{расч} = H_{Помещения} - H_{Свеса} - H_{Стола}, \qquad (4.10)$$

где $H_{свеса}$=0 - высота свеса ламп, м;

$H_{стола}$=1,2 - расстояние рабочей поверхности над полом, м;

$H_{помещения}$=3 - высота помещения, м.

Подставив все значения, получим высоту подвеса светильников

$$h_{расч} = 3 - 1{,}2 = 1{,}8 м.$$

Зависимость η от площади помещения, высоты и формы, возможно учесть одной комплексной характеристикой – индексом помещения.

Индекс помещения *(i)* рассчитывается по формуле

$$i = \frac{S_{помещ}}{(L+B) \cdot h_{расч}} = \frac{56}{(8+7) \cdot 1{,}8} = 2{,}07, \qquad (4.11)$$

где S, L, B – соответственно площадь, длина и ширина помещения.

Таким образом, по полученному индексу помещения определяем по таблице значение η=0,67 (таблица 5-11 [15]).

Используем люминесцентные лампы мощностью 40 Вт и световым потоком 3120лм. Определим число светильников

$$N = \frac{56 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 300}{0{,}67 \cdot 2 \cdot 3120} = 6{,}4 \approx 6 \text{ светильника}$$

То есть, для создания освещенности в 300 лк с разрядом зрительных работ III необходимо 12 ламп в 6 светильниках, с типом ламп - ЛБ-40Вт и световым потоком Ф = 3120 лм. Так как изначально в помещении было 8 ламп в 4 светильниках, нам необходимо еще 2 светильника.

4.3 Анализ микроклимата

В таблице 4.2 приведены оптимальные нормы параметров микроклимата с учетом периода года, согласно ГОСТ 12.0.003-88. ССБТ для легкой физической работы.

Таблица 4.2 – Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ПК

Период года	Категория работ	Температура воздуха °С не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха м/с
Холодный	Легкая 1б	21-23	40-60	0,1
Теплый	Легкая 1б	22-24	40-60	0,2

Определим необходимое количество кондиционеров для создания комфортных условий труда в помещении.

Для этого определим избыточное тепло.

Баланс теплопоступлений в помещении:

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_{л} + Q_{р} - Q_{отд} \quad (4.10)$$

где $Q_{Об}$ - тепло, выделяемое производственным оборудованием;

$Q_{осв}$ - теплопоступление от осветительных приборов, оргтехники и оборудования;

$Q_{Л}$ – теплопоступления от людей;

$Q_{р}$ – Теплопоступление от солнечного излучения через остекление;

$Q_{отд}$ – теплоотдача естественным путём, ккал/ч.

Тепло, выделяемое производственным оборудованием:

$$Q_{об} = 1000 \cdot P_{об} \cdot \eta \quad (4.11)$$

где 1000 - тепловой эквивалент 1 кВт/ч;

$P_{Об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт/ч;

η – коэффициент перехода тепла в помещение.

$$Q_{об} = 1000 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}95 = 2375 Вт$$

Значение η=0,95 – норма потерь потребляемой мощности на тепловыделения компьютерного оборудования.

Тепло, выделяемое осветительными установками:

$$Q_{осв} = F_{пол} \cdot \eta \cdot N \quad (4.12)$$

где $F_{пол}$ – площадь пола, $F_{пол}$ = 56 м^2;

η=0,5 – норма потерь потребляемой мощности на тепловыделения люминесцентных ламп;

N – расходуемая мощность светильников, кВт.

$$Q_{осд} = 56 \cdot 0{,}5 \cdot 57 = 1596 Вт.$$

Тепло, выделяемое людьми:

$$Q_л = n \cdot q_ч \tag{4.13}$$

где $q_ч$ – количество тепла, выделяемое одним человеком;

n – количество людей.

$$Q_л = 4 \cdot 12 = 48 Вт$$

Тепло, вносимое солнечной радиацией:

$$Q_р = A_{ост} \cdot F \cdot q_{ост} \tag{4.14}$$

где $A_{ост}$ – коэффициент остекления;

F – площадь одного окна, м^2;

$q_{ост}$ – солнечная радиация через остеклённую поверхность, т.е. количество тепла, вносимое за один час через остеклённую поверхность площадью 1 м^2.

Для окна с двойным остекленением с деревянными переплетами $q_{ОСТ}$ =100 (окна выходят на север, Алматы находиться на широте 43° сев. широты). Количество окон равно 4. Площадь окон равна 1 м^2.

$$Q_р = 1 \cdot 1 \cdot 100 = 100 Вт$$

Для тёплого периода года при расчётах можно принять $Q_{ОТД}$=0.

$$Q_{изб} = 2375 + 1596 + 48 + 100 = 4119 Вт$$

При наличии теплоизбытков количество воздуха, которое необходимо удалить из помещения:

$$L_b = \frac{Q_{изб}}{C_b \cdot \Delta t \cdot \gamma_b} \tag{4.15}$$

где $Q_{изб}$ – избыточное тепло, ккал/ч;

C_b – теплоёмкость воздуха (0,24 ккал/кг°С);

$\Delta t = t_{вых} - t_{вх}$;

$t_{ВЫХ}$ – температура воздуха выходящего из помещения, °С;
$t_{ВХ}$ – температура воздуха поступающего в помещение, °С;
γ_b =1,206 кг/ м^3 – удельная масса приточного воздуха.

Величина Δt при расчётах выбирается в зависимости от теплонапряжённости воздуха:

$$Q_н = \frac{Q_{изб}}{V_п} \tag{4.16}$$

$$Q_Н = \frac{4119}{168} = 24{,}51 ккал/м^3.$$

Если теплонапряжённость воздуха $Q_н$<20 ккал/м^3, то принимают Δt = 6°С, а при $Q_н$>20 ккал/м^3, Δt =8°С.

$$L_b = \frac{4119}{0{,}24 \cdot 8 \cdot 1{,}206} = 1778{,}86 м^3/ч.$$

Существующий кондиционер AUX ASW-(H)24B4/ EQ кондиционер имеет расход воздуха 2000 м^3/ч. Определим требуемое количество таких кондиционеров:

$$N = \frac{1778{,}86}{2000} \approx 1 \text{ кондиционер}$$

В результате проделанного расчета выбран кондиционер AUX ASW-(H)24B4/ EQ, в количестве 1 единицы.

Характеристики кондиционера AUX ASW-(H)24B4/ EQ:
Мощность охлаждения / обогрев: 7000/7700 Вт;
Производительность по воздуху: 2000 м^3/ч;
Размер блока: 1095х312х205 мм;

5 Технико-экономическое обоснование

5.1 Цели и задачи

Системы VSAT (Very Small Aperture Terminal — терминал с очень маленькой апертурой) предоставляют услуги спутниковой связи клиентам, которым не требуется высокая пропускная способность канала.

Обеспечить качественную телефонную связь в сети позволяет специально разработанный голосовой модуль и программное обеспечение, полностью интегрированные в спутниковую платформу. Их применение обеспечивает не только качество самой связи без необходимости выделения полосы, обладающей гарантированной пропускной способностью, но и даёт возможность сохранить единый алгоритм нумерации, утверждённый в компании. Телефонный модуль и программное обеспечение входят в стандартную комплектацию модема, предлагаемого при подключении к сети Intelsat.

В этом разделе рассчитаем стоимость разработки программного продукта для терминалов VSAT, а так же его цену реализации.

5.2 Трудовые ресурсы, используемые в работе

В разработке программного обеспечения задействованы:

1) Разработчик;
2) Руководитель проекта;
3) Консультант по экономической части;
4) Консультант по части БЖД.

Количество сотрудников, задействованных в разработке ПП, представлено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Данные о работниках, задействованных в проекте и их заработная плата

Наименование	Количество	Заработная плата, тенге
Разработчик	1	250000
Руководитель проекта	1	120000
Консультант по части «Экономика»	1	80000
Консультант по части «БЖД»	1	80000
Итого	4	530000

5.3 Оборудование, используемое в работе

Оборудование, используемое при разработке ПП, представлено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Перечень оборудования, необходимого для разработки ПП

Наименование	Характеристики	Количество единиц	Цена за единицу, тенге	Общая сумма, тенге
1 Ноутбук	Lenovo G710 59397112/Intel Core i7-4702MQ 2.2 GHz/8192 МБ, DDR3/NVIDIA GeForce GT 720M - 2048 МБ/1000Gb	1	143000	143000
Всего				143000

Цены на оборудование приведены без учета НДС.

5.4 Программное обеспечение, используемое в работе

Программное обеспечение, используемое в работе, представлено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Перечень программного обеспечения, используемого при разработке программного продукта

Программное обеспечение	Стоимость, тенге
1 MS Windows 7 Home Premium	25000
2 1С: Предприятие 8.2	50000
Итого	75000

Цены на ПО приведены без учета НДС.

5.5 Сроки реализации проекта

Проектирование и разработка программного продукта состоит из этапов и включает следующие виды работ:

1-й этап – постановка задачи, сбор необходимой информации, разработка структуры базы данных;

2-й этап – создание объектов конфигурации и их форм;

3-й этап – заполнение базы данных;

4-й этап – создание ролей, пользователей и разработка интерфейсов для них;

5-й этап – проверка на работоспособность ПП;

6-й этап – оформление отчетов.

График разработки проекта представлен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Этапы и сроки реализации проекта

Наименование этапа		Недели от начала работ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 этап	Постановка задачи										
	Подбор и изучение литературы										
	Разработка структуры БД										
2 этап	Создание объектов конфигурации, их форм										
3 этап	Заполнение базы данных										
4 этап	Создание ролей, пользователей										
	Разработка интерфейсов для пользователей										
5 этап	Тестирование ПО										
	Отладка ПО										
6 этап	Подготовка раздела «Экономика»										
	Подготовка раздела «Безопасность жизнедеятельности»										
	Проверка и сдача отчета										

5.6 Затраты на разработку системы

Затраты на разработку системы (производственные затраты) представляют собой единовременные расходы на всех этапах инновационного процесса: исследование, разработка, опытная проверка. Определение затрат на разработку проекта производится путем составления калькуляции плановой себестоимости. В плановую себестоимость включают все затраты, связанные с ее выполнением, независимо от источника их финансирования [18].

Вся стоимость разработки проекта определяется по формуле 5.1:

$$Сб = ФОТ + О_{СН} + А + Э + Н \qquad (5.1)$$

где $Сб$ – себестоимость;

$ФОТ$ – фонд оплаты труда;

$О_{СН}$ – отчисления на социальные нужды;

$А$ – амортизационные отчисления;

$Э$ – затраты на электроэнергию;

$Н$ – накладные расходы.

5.6.1 Расчет фонда оплаты труда

Фонд оплаты труда (ФОТ) – это суммарные издержки предприятия на оплату труда всех работников за определенный период, который формируется из основной и дополнительной заработной платы и определяется по формуле 5.2:

$$ФОТ = З_{ОСН} + З_{ДОП} \quad (5.2)$$

где $З_{ОСН}$ - основная заработная плата;

$З_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата.

На этапах разработки ПП, участники разработки задействованы неравноценно, для этого необходимо рассчитать средний дневной заработок, а затем общий размер заработной платы.

Средний дневной заработок каждого работника рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{ЗПм}{Др} \quad (5.3)$$

где $ЗПм$ – ежемесячный размер заработной платы, тенге;

$Др$ – количество рабочих дней в месяце (24 дня – шестидневная рабочая неделя).

1) Разработчик: $D = \frac{250000}{24} = 10417 тенге/день$

2) Руководитель: $D = \frac{120000}{24} = 5000 тенге/день$

3) Консультант по части «Экономика»: $D = \frac{80000}{24} = 3333 тенге/день$

4) Консультант по части «БЖД»: $D = \frac{80000}{24} = 3333 тенге/день$

Заработная плата за один час рассчитывается по формуле:

$$Н = \frac{ЗПм}{Др \cdot Чр} \quad (5.4)$$

где $ЗПм$ – ежемесячный размер заработной платы, тенге;

Др – количество рабочих дней в месяце (24 дня – шестидневная рабочая неделя);

Чр – продолжительность рабочего дня, час (при 7-часовом рабочем дне).

1) Разработчик: $H = \frac{250000}{24 \cdot 7} = 1488 тенге/день$

2) Руководитель: $H = \frac{120000}{24 \cdot 7} = 714 тенге/день$

3) Консультант по части «Экономика»: $H = \frac{8000}{24 \cdot 7} = 476 тенге/день$

4) Консультант по части «БЖД»: $H = \frac{8000}{24 \cdot 7} = 476 тенге/день$

Длительность цикла в днях по каждому виду работ определяется по формуле:

$$t_n = \frac{T}{q_n \cdot z \cdot K} \qquad (5.5)$$

где Т – трудоемкость этапа, норма-час;

q_n – количество исполнителей по этапу;

z – продолжительность рабочего дня, z= 7 часов;

К – коэффициент выполнения норм времени, К = 1,1.

Полученную величину t_n округляю в большую сторону до целых дней.

$t_1 = \frac{14}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 2$ руководитель; постановка задачи;

$t_2 = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ разработчик; подбор и изучение литературы;

$t_3 = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ руководитель; подбор и изучение литературы;

$t_4 = \frac{28}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 4$ разработчик; разработка структуры БД;

$t_5 = \frac{70}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 10$ разработчик; создание объектов конфигурации, их форм;

$t_6 = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ разработчик; заполнение базы данных;

$t_7 = \frac{7}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 1$ разработчик; создание ролей, пользователей;

$t_8 = \frac{70}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 10$ разработчик; разработка интерфейсов для пользователей;

$t_9 = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ разработчик; тестирование ПО;

$t_{10} = \frac{28}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 4$ разработчик; отладка ПО;

$t_{11} = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ разработчик; подготовка раздела «Экономика»;

$t_{12} = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ консультант по экономической части; подготовка раздела «Экономика»;

$t_{13} = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ разработчик, консультант части БЖД; подготовка раздела «БЖД»;

$t_{14} = \frac{21}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 3$ разработчик, консультант части БЖД; подготовка раздела «БЖД»;

$t_{15} = \frac{14}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 2$ разработчик, руководитель; проверка и сдача отчета.

$t_{16} = \frac{14}{1 \cdot 7 \cdot 1{,}1} \approx 2$ разработчик, руководитель; проверка и сдача отчета.

Сводные результаты расчета затрат на основную заработную плату работников, задействованных в разработке ПП представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Сводные результаты расчета затрат на основную заработную плату

Наименование работ	Исполнитель	Трудоемкость		Длительность цикла, днях	Заработная плата за час работы, тенге	Сумма заработной платы, тенге
		Нормо-час	% от общей трудоемкости			
1 Постановка задачи	Руководитель	14	3,39	2	714	9996
2 Подбор и изучение литературы	Руководитель	21	5,08	2	714	14994
	Разработчик	21	5,08	2	1488	31248
3 Разработка структуры БД	Разработчик	28	6,78	4	1488	41664
4 Создание объектов конфигурации, их форм	Разработчик	70	16,95	10	1488	104160
5 Заполнение БД	Разработчик	21	5,08	3	1488	31248
6 Создание ролей, пользователей	Разработчик	7	1,69	1	1488	10416
7 Разработка интерфейсов для пользователей	Разработчик	70	16,95	10	1488	104160
8 Тестирование ПО	Разработчик	21	5,08	3	1488	31248
9 Отладка ПО	Разработчик	28	6,78	4	1488	41664
10 Подготовка раздела «Экономика»	Разработчик	21	5,08	3	1488	31248
	Консультант по экономической части	21	5,08	3	476	9996
11 Подготовка раздела «БЖД»	Разработчик	21	5,08	3	1488	31248
	Консультант части БЖД	21	5,08	3	476	9996
12 Проверка и сдача отчета	Разработчик	14	3,39	2	1488	20832
	Руководитель	14	3,39	2	714	9996
Итого		413	100	60		534114

Дополнительная заработная плата составляет *10 %* от основной заработной платы и рассчитывается по формуле 5.6:

$$З_{ДОП} = З_{ОСН} \cdot 0{,}1 \qquad (5.6)$$

$$З_{ДОП} = 534114 \cdot 0{,}1 = 53411{,}4$$

Таким образом, суммарный фонд оплаты труда составит:

$$ФОТ = 534114 \cdot 53411{,}4 = 587525{,}4 тенге$$

5.6.2 Расчет затрат по социальному налогу

Социальный налог составляет 11% (ст. 358 п.1 НК РК) от дохода работника, и рассчитывается по формуле 5.7:

$$C_Н = (ФОТ - ПО) \cdot 0{,}11 \qquad (5.7)$$

где ПО – пенсионные отчисления, которые составляют 10% от ФОТ и социальным налогом не облагаются:

$$ПО = ФОТ \cdot 0{,}1 \qquad (5.8)$$

$$ПО = 587525{,}4 \cdot 0{,}1 = 58752{,}54 тенге$$

Размер отчислений на социальные нужды составит:

$$C_Н = (587525{,}4 - 58752{,}54) \cdot 0{,}11 = 58165 тенге$$

5.6.3 Расчет амортизационных отчислений

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле 5.9:

$$A_i = \frac{H_A \cdot C_{Пер} \cdot N}{100 \cdot 12 \cdot n} \qquad (5.9)$$

где: H_A – норма амортизации;

$C_{пер}$ – первоначальная стоимость оборудования;

N – количество дней на выполнение работ;

n – количество дней в рабочем месяце.

Норма амортизации H_A на компьютерную технику и на программное обеспечение составляет 40% от всей стоимости.

Амортизационные отчисления по используемому оборудованию и программному обеспечению составят:

$$A_1 = \frac{40 \cdot 143000 \cdot 60}{100 \cdot 12 \cdot 24} = 11916{,}66 тенге$$

$$A_2 = \frac{40 \cdot 25000 \cdot 60}{100 \cdot 12 \cdot 24} = 2083{,}33 тенге$$

$$A_з = \frac{40 \cdot 50000 \cdot 60}{100 \cdot 12 \cdot 24} = 4166{,}66 тенге$$

$$A = 11916{,}66 + 2083{,}33 + 4166{,}66 = 18166{,}65 тенге.$$

5.6.4 Расчет затрат на электроэнергию

Так как, в процессе производства используется электрооборудование необходимо рассчитать затраты на электроэнергию. Затраты на электроэнергию для производственных нужд включают в себя расходы электроэнергии на оборудование и дополнительные нужды [19].

$$Э = З_{ЭЛ,ЭН.ОБОР.} + З_{ДОП.НУЖ.} \quad (5.10)$$

где $З_{ЭЛ,ЭН.ОБОР.}$ – затраты на электроэнергию оборудования;

$З_{ДОП.НУЖ.}$ – затраты электроэнергии на дополнительные нужды.

Расходы электроэнергии на оборудование рассчитываются по формуле 5.11:

$$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} = W \cdot T \cdot S \cdot K_{ИСП} \quad (5.11)$$

где: W - потребляемая мощность, Вт;

T – количество часов работы оборудования;

S – стоимость киловатт-часа электроэнергии (1кВтч = 21 тг);

$K_{ИСП}$ = коэффициент использования ($K_{ИСП}$ = 0,9).

W = 90 Вт = 0,09 кВт (мощность ноутбука);

$T = 60 \cdot 7 = 420 ч$;

S = 21 тг.

Сумма затрат на электроэнергию основного оборудования составляет:

$$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} = 0{,}09 \cdot 420 \cdot 21 \cdot 0{,}9 = 714{,}42 тенге$$

Затраты на дополнительные нужды берутся по укрупненному показателю в размере 5% от затрат на оборудование:

$$З_{ДОП.НУЖ.} = 0{,}05 \cdot З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} \quad (5.12)$$

$$З_{ДОП.НУЖ.} = 0{,}05 \cdot 714{,}42 = 35{,}721 тенге$$

Суммарные затраты на электроэнергию составляют:

$$Э = 714{,}42 + 35{,}721 = 750{,}141 тенге$$

5.6.5 Расчет накладных расходов

Накладные расходы составляют 50% от всех затрат и рассчитываются по формуле:

$$НР = (ФОТ + С_Н + А + Э) \cdot 0{,}5 \qquad (5.13)$$

Накладные расходы согласно формуле 5.13 составляют:

$$НР = (587525{,}4 + 58165 + 18166{,}65 + 730{,}141) \cdot 0{,}5 = 332293{,}6 тенге$$

Таким образом, в соответствии с формулой 5.1, суммарные затраты по разработке программного продукта составляют:

$$Сб = 587525{,}4 + 58165 + 18166{,}65 + 730{,}141 + 332293{,}6 = 996880{,}79 тенге$$

Смета затрат по разработке ПП и структура затрат представлены в таблице 5.6 и на рисунке 5.1.

Таблица 5.6 – Стоимость разработки программного продукта

Наименование статей затрат	Сумма, тенге	Структура затрат, %
ФОТ	587525,4	59,12
Социальный налог	58165	5,85
Амортизационные отчисления	18166,65	1,618
Затраты на электроэнергию	750,141	0,075
Накладные расходы	332293,6	33,33
Итого	996880,79	100

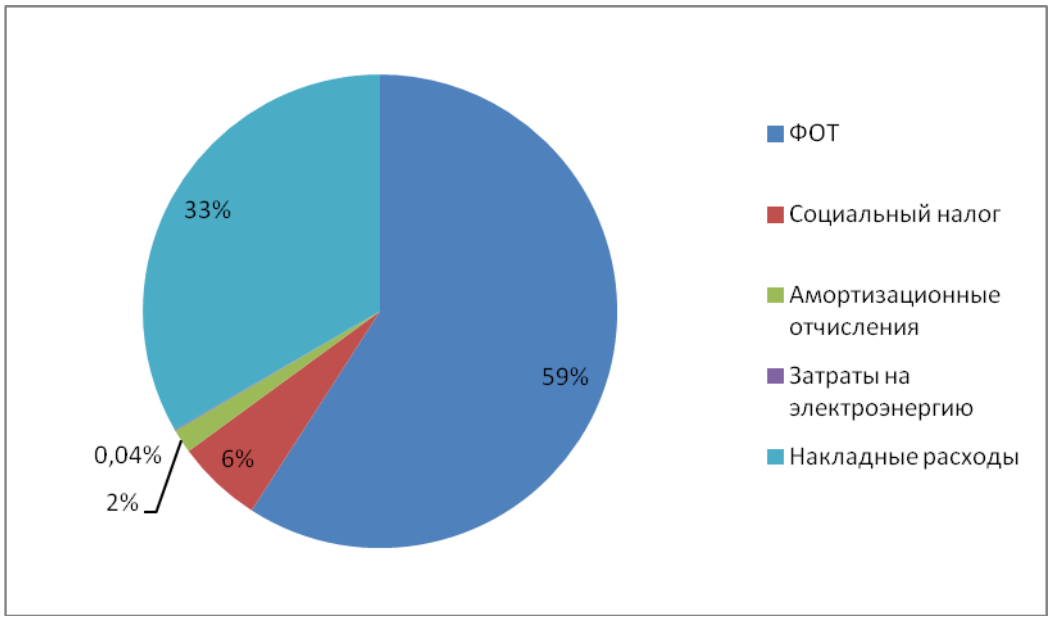


Рисунок 5.1 – Структура затрат по разработке программного продукта

5.7 Цена реализации

Цена реализации программного продукта складывается из его стоимости и прибыли:

$$Ц = Сб + П \tag{5.14}$$

где Сб – стоимость продукта;
П – прибыль.

При определении первоначальной цены следует задать уровень рентабельности (20%) для реализации программного продукта:

$$Цп = Сб \cdot (1 + P/100) \tag{5.15}$$

где Р – рентабельность (20%) .

$$Цп = 996880{,}79 \cdot (1 + 0{,}2) = 1196256{,}948 тенге;$$

Цена реализации готовой продукции рассчитывается по формуле:

$$Цр = Цп + НДС \tag{5.16}$$

где НДС – налог на добавочную стоимость.

НДС рассчитывается по формуле:

$$НДС = Цп \cdot 0{,}12 \tag{5.17}$$

$$НДС = 1196256{,}948 \cdot 0{,}12 = 143550{,}83 тенге$$

$$Цр = 1196256{,}948 + 143550{,}83 = 1339807{,}778 тенге$$

В результате экономического расчета затраты на разработку программного продукта составили 993785,79 тенге. Основной статьей расходов является заработная плата, которая составляет 59,12% от всех затрат. На втором месте накладные расходы, которые составляют 33,33% от всех затрат. Цена реализации программного продукта - 1335648,102 тенге. Данный программный продукт может реализовываться на рынке для компаний, которые предоставляют услуги спутниковой связи на базе VSAT технологии.

Заключение

В представленном дипломном проекте рассмотрели вопрос проектирования спутниковой линии связи на базе VSAT технологии для компании ТОО «Жарык».

Провели энергетический расчет на частотах существующего Ku-даипазона. Произвели энергетический расчет линии связи на частотах Ка-диапазона, произвели сравнительный анализ энергетики линий. Осуществили обзор оборудования для построения системы передачи данных с учетом технических требований.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» провели анализ условий работы труда, расчет искусственного освещения и расчет микроклимата.

В разделе «Экономической части» рассчитаны стоимость разработки программного продукта для терминалов VSAT и стоимость его реализации.

Список литературы

1. Битнер В.И. Управление сетью электросвязи: Учебное пособие / СибГУТИ. – 2001. – 78 с.
2. Битнер В.И. Принципы коммутации и доставки информации в Ш-ЦСИС: Учебное пособие. – Н.: СибГУТИ, 2001. – 91 с.
3. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. — М.: «Альпина Паблишер», 2004. - 536 с:
4. Модуль 41. Технические требования к земным станциям для работы в сетях спутников «Горизонт», «ЭкспрессА», «ЭксспрессАМ», «Бонумм1», «Eutelsat W4». ФГУП «Космическая связь».
5. Hill, Jeffrey. Euroconsult's Long-Term Satellite Forecast Bullish on Commercial, Bearish on Government // Satellite-Today.com.
6. Hill, Jeffrey. Northern Sky Research: Industry Consolidation Benefits FSS Satellite Sector // SatelliteToday.com
7. Hill, Jeffrey. Intelsat Evolves New Satellites With Open Architecture EpicNG Platform // SatelliteToday.com.
8. Рерих А.. ГКС нашел спутник // Comnews: интернет-газета, 2011. – URL: http://www.comnews.ru/index.cfm?id=63738.
9. Алексей Рерих. "Орион" увел Horizons-2 в Россию // Comnews.ru, 2011.
10. Журнал «Теле-спутник», раздел «Крупный план» - март, 2011.
11. Сайт http://ru.wikipedia.org/wiki/VSAT#cite_ref-2
12. Сайт http://www.jarykh.kz/jarykh/uslugi/skyedge
13. Учебное пособие: микроволновые технологии в телекоммуникационных системах. В. Ф. Михайлов, Т. Н. Нарытник, И. В. Брагин, В. Н. Мошкин Санкт-Петербург, 2003 г.
14. Бородич С.В. ЭМС наземных и космических радиослужб. Критерии, условия и расчет. - М.: Радио и связь, 1990. - 272 с.
15. Ж.С. Абдимуратов, С. Е. Мананбаева. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Расчет производственного освещения» в выпускных работах для всех специальностей. Бакалавриат - Алматы: АИЭС, 2009. - 20 с
16. СНиП РК 2.-04.-5-2002 «Естественное и искусственное освещения. Общие требования»
17. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под.ред. Г.М. Кнорринга. -Л. : Энергия, 1976
18. Грузинов В.П., Грибов В.Д. Экономика предприятия. –2-е изд., допол. – Москва, 2001. – 259 с.
19. Волков О.И., Скляренко В.К. Экономика предприятия: курс лекций, – Москва, 2006. – 368 с.

Приложение А

Расчет азимута и угла места для земной станции 1 (г. Алматы) и земной станции 2 (морское судно)

Mathcad - [энергетич расчет]

Расчет азимута и угла места для ЗС1:

$\xi 1 := 43.25 \cdot deg \qquad \beta 1ks := 66 \cdot deg \qquad \beta 1zs := 76.9 \cdot deg$

$\Delta\beta 1 := |\beta 1ks - \beta 1zs|$

$\Delta\beta 1 := -10.9 \cdot deg$

$$Az1 := 180 \cdot deg - atan\left(\frac{\tan(\Delta\beta 1)}{\sin(\xi 1)}\right) = 3.416$$

$$\gamma 1 := atan\left(\frac{\cos(\Delta\beta 1)\cdot\cos(\xi 1) - 0.15126}{\sqrt{\sin(\Delta\beta 1)^2 + \cos(\Delta\beta 1)\cdot\sin(\xi 1)}}\right) = 0.59$$

Расчет азимута и угла места для ЗС2:

$\xi 2 := 42 \cdot deg \qquad \beta 2ks := 66 \cdot deg \qquad \beta 2zs := 51 \cdot deg$

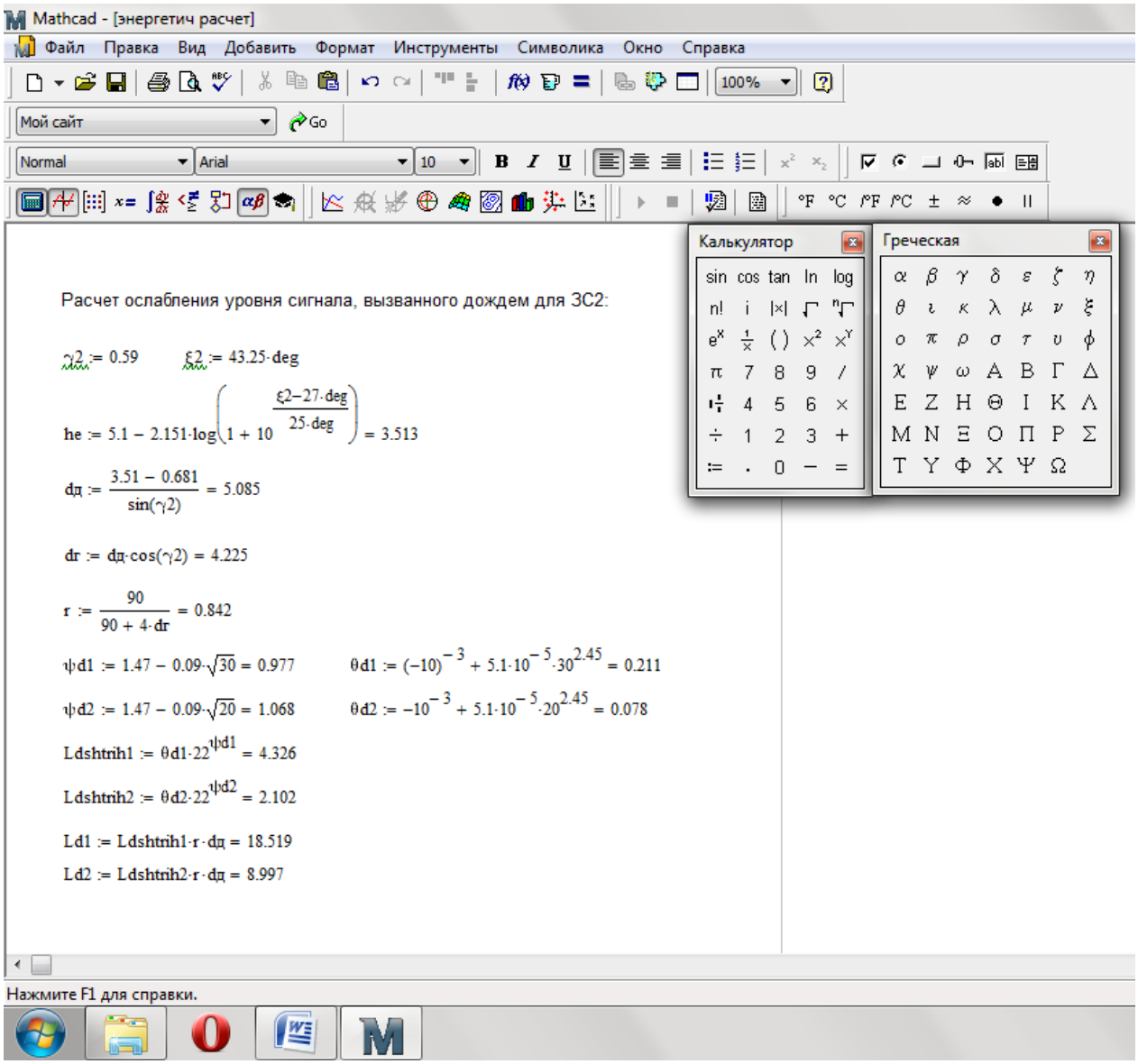
$\Delta\beta 2 := |\beta 2ks - \beta 2zs|$

$\Delta\beta 2 := 15 \cdot deg$

$$Az2 := 180 \cdot deg - atan\left(\frac{\tan(\Delta\beta 2)}{\sin(\xi 2)}\right) = 2.761$$

$$\gamma 2 := atan\left(\frac{\cos(\Delta\beta 2)\cdot\cos(\xi 2) - 0.15126}{\sqrt{\sin(\Delta\beta 2)^2 + \cos(\Delta\beta 2)\cdot\sin(\xi 2)}}\right) = 0.591$$

Нажмите F1 для справки.

Приложение В

Расчет ослабления уровня сигнала, вызванного дождем для земной станции 2 (морское судно)