МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»
Кафедра Телекоммуникационных систем

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»
Зав.кафедрой _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «____» _____ 201___ г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Анализ особенностей организации спутниковых систем персональной связи.

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Выполнил Мамытканов Е.Ж. (Ф.И.О.) Группа МТС-12-7

Научный руководитель к.т.н. Чумак Н.В. (ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «01» 05 2016 г.
(подпись)

Консультанты:
по экономической части:
доцент Боганова Г.М. (ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «13» 06 2016 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Бегимбетова А.С. ст. преп. (ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «6» июня 2016 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
к.т.н, ст. преп. Бурмакова Ю.В. (ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «08» июня 2016 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Демидова Т.Д, ст. пр-ль (ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «15» июня 2016 г.
(подпись)

Рецензент: Вице-спрез АО РСТК „Библиотека" Ефремов К.М. (ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «14» июня 2016 г.
(подпись)

Алматы 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Радиотехники, телекоммуникации и связи

Кафедра Телекоммуникационных систем

Специальность Радиотехника, электроника и телекоммуникация 5В 07 1900

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту Мамитканову Едилю Жанибековичу
(Ф.И.О.)

Тема проекта Анализ особенностей организации спутниковых систем персональной связи

Утверждена приказом по университету №_____ от «__» _____ 201__ г.

Срок сдачи законченного проекта «14» 06 2016 г.

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

Рассмотреть возможность организации системы связи персонального вызова для судна, находящегося в Каспийском море и мобильного абонента в г. Алматы. Космический сегмент геостационарный спутник INMARSAT, абонентская наземная линия – линия сотовой связи (прямой канал)

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:

1. Геостационарные спутниковые системы связи с мобильными и персональными терминалами
2. Система INMARSAT
3. Расчеты линии связи персонального вызова
4. Бизнес-план
5. Безопасность жизнедеятельности
6. Заключение

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Схема системы связи.
2. Зона покрытия спутников системы INMARSAT.
3. Таблица расчетных показателей энергетики системы связи.
4. Таблица экономических показателей.

Основная рекомендуемая литература:

Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей.
Я.М. Бонч-Бруевич, В.Л. Быков - Системы спутниковой связи.
Б.Б. Агатаева, Л.И. Сарженко, С.О. Зайцев - Технология беспроводной связи.
Л.М. Невдяев, Я.А. Смирнов - Персональная спутниковая связь.

Консультанты по проекту с указание относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Бизнес план	Боканова Г.И.	01.04.16 – 31.05.16	
Вычислит. техника	Ефремова Ю.М.	01.04.16 – 5.06.16	
Безопасность жизн.	Бегимбетова Я.С.	01.04.16 – 6.06.16	
Спец. часть	Чумак Н.И.	01.04.16 - 31.05.16	

График подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
1. Сбор теоретического материала	24.02.16 - 09.03.16	
2. Описание используемой технологии	10.03.16 - 14.03.16	
3. Расчет линии связи персонального вызова	15.03.16 - 20.03.16	
4. Расчет абонентской линии „судно-спутник"	21.03.16 - 24.03.16	
5. Расчет фидерной линии КС-ЗС	24.03.16 - 27.03.16	
6. Расчет абонентской линии сотовой связи. БС-МС.	27.03.16 - 01.04.16	
7. Составление бизнес-плана	03.04.16 - 09.04.16	
8. Расчет инвестиционных затрат и расходов.	11.04.16 - 20.04.16	
9. Расчет доходов от реализации услуг	21.04.16 - 26.04.16	
10. Расчет срока окупаемости	27.04.16 - 01.05.16	
11. Подготовка раздела БЖД	01.05.16 - 03.05.16	
12. Расчет воздействия электромагнитных полей на организм человека	05.05.16 - 10.05.16	
13. Расчет биологически опасной зоны.	12.05.16 - 20.05.16	

Дата выдачи задания «___» _____ 201___ г.

Заведующий кафедрой _____ (Байкенов А. С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель Проекта _____ (Чумак Н. И.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент _____ (Мамитканов Е. Ж.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аннотация

Современные условия телекоммуникаций требуют возможности организации линии связи персонального вызова в любой точке Земного шара. В данном дипломном проекте рассмотрены особенности построения спутниковой системы персональной связи на основе спутника INMARSAT. Данная линия связи состоит из трех участков: абонентской линии, фидерной линии и наземной линии связи. В проекте приведен энергетический расчет данных линии и сравнение со стандартами, экономический расчет и разработаны мероприятия по ОБЖ.

Annotation

Modern telecommunications conditions require the possibility of organizing the line paging communications anywhere in the world. In this thesis project the features of the construction of satellite personal communications systems based on INMARSAT satellite. This link consists of three sections: the subscriber line, feed line and landline. The project is an energy calculation and comparison of the data line with the standards, economic calculation and worked out measures for life safety.

Аңдатпа

Қазіргі заманғы телекоммуникациялық шарттары әлемнің кез келген жерінде желісі пейджинг коммуникацияны ұйымдастырудың мүмкіндігін талап етеді. Бұл тезис жобада спутниктік жеке байланыс жүйелерін құру ерекшеліктері INMARSAT спутник негіздген. Бұл сілтеме үш бөлімнен тұрады: абоненттік желі, жемшөп желісін және стационарлық. Жоба энергия есептеу мен стандарттарға сәйкес деректер желісі салыстыру, экономикалық есептеу және өмір тіршілігінің қауіпсіздігі жөніндегі іс-шараларды жүзеге жұмыс істеді.

Содержание

Введение
1 Геостационарные спутниковые системы связи с мобильными и персональными терминалами 9
2 Система INMARSAT 10
2.1 Состав, виды услуг и особенности построения 10
2.2 Земные и абонентские станции 12
2.3 Система INMARSAT-M 13
2.4 Система INMARSAT-C 15
2.5 Система пейджинговой связи INMARSAT-D 16
2.6 Система Inmarsat-E 16
3 Гипотетическая эталонная линия связи 17
3.1 Система спутниковой мобильной и персональной связи на базе многолучевой антенны ретранслятора геостационарного КА 17
4 Спутниковые телекоммуникационные системы с использованием КА на средневысотных и низких орбитах 18
5 Расчетная часть 18
5.1 Расчет линии связи персонального вызова 19
5.2 Расчет абонентской линии «судно-спутник» 20
5.3 Расчет фидерной линии КС-ЗС (Алматы) 33
5.4 Расчет абонентской линии сотовой связи. БС-МС (прямой канал) 39
5.5 Выводы по расчету линии связи персонального вызова 43
6 Бизнес план 43
6.1 Резюме 44
6.2 Компания и отрасль 45
6.3 Описание услуги 46
6.4 Маркетинг 47
6.5 Финансовый план 55
7 Безопасность жизнедеятельности 56
7.1 Воздействие электромагнитных полей на организм человека 63
7.2 Расчет биологически опасной зоны 66
7.3 Методы защиты от электромагнитных полей 68
Заключение
Список литературы
Приложение

Введение

Современные телекоммуникационные системы развиваются в следующих трех основных направлениях:

– глобализация связи;
– персонализация связи;
– мобильность связи.

Это означает, что телекоммуникационные системы должны обеспечивать связь любых абонентов между собой в любом месте земного шара и в любое время.

Из концепции глобальности связи вытекает важная роль международных стандартов в области телекоммуникаций, которые публикуются в виде рекомендации МСЭ для телекоммуникационных систем. Выполнение рекомендаций МСЭ обеспечивает совместимость разных национальных телекоммуникационных сетей между собой и их включение в единую глобальную телекоммуникационную сеть, а также совместимость телекоммуникационной аппаратуры различных изготовителей.

Концепция персонализации связи подразумевает присвоение номера (телефонного, компьютерного) не аппарату, а человеку с тем, чтобы с человеком можно было связаться, где бы он ни находился: в автомобиле, в самолете, в другой стране мира и пр., по одному и тому же универсальному номеру. Персонализация связи является одной из самых амбициозных задач человеческого сообщества.

Концепция мобильности связи связана с концепцией персонализации связи и подразумевает, согласно существующей тенденции, что в ближайшей перспективе количество мобильных терминалов в мире значительно превзойдет количество стационарных терминалов и мобильная связи будет самым массовым видом связи. Подразумевается конвергенция телекоммуникационных услуг в сетях мобильной и стационарной связи, т.е. ставится задача обеспечения в сетях мобильной связи таких же телекоммуникационных услуг и того же качества, которые предоставляются в стационарных телекоммуникационных сетях.

1 Геостационарные спутниковые системы связи с мобильными и персональными терминалами

Ранее дальняя связь с морскими судами и самолетами осуществлялась в диапазоне коротких волн за счет многократного отражения радиосигналов от слоя F_2 ионосферы и поверхности Земли. Однако связь в диапазоне коротких волн характеризуется низкой надежностью и неудовлетворительным качеством передачи телефонного сигнала из-за большого количества помех разного рода в этом диапазоне волн и неустойчивого характера распространения радиосигналов.

Создание спутниковых систем связи с мобильными терминалами позволило разработать надежные высококачественные каналы дальней связи с морскими и воздушными судами, а также с сухопутными мобильными терминалами. В настоящее время спутниковые каналы связи с мобильными терминалами обеспечивают передачу в цифровой форме телефонных сигналов, факсимиле, электронной почты. На повестке дня стоит создание спутниковых высокоскоростных мультимедийных каналов связи для мобильных терминалов.

КА фиксированной спутниковой связи и КА телевещания освещают главным образом сушу земного шара и не могут использоваться для связи с морскими судами и самолетами межконтинентальных авиалиний. Кроме того, антенны наземных станций фиксированной связи имеют большие габариты и по конструктивным соображениям не могут устанавливаться на самолеты, автомобили и другие мобильные объекты. В связи свышеизложенным необходимо для мобильных терминалов создавать отдельные специализированные системы спутниковой связи.

В этих системах должна обеспечиваться работа мобильных терминалов с малогабаритными антеннами. Из-за недостаточной энергетики спутниковых каналов связи с малогабаритными терминалами скорости передачи информации в этих каналах оказываются существенно более низкими по сравнению со спутниковыми каналами связи со стационарными станциями.

На сегодня можно сказать, что скорости передачи информации в спутниковых системах связи с мобильными терминалами определяются исключительно энергетикой спутниковых радиолиний.

На рисунке 1.1 показана структура спутниковой системы мобильной связи. Радиолинии подразделяются на абонентские линии связи и фидерные линии связи. Абонентские радиолинии "Терминал-КА″ и "КА-терминал" работают в полосах частот, выделенных для спутниковой мобильной связи. Для абонентских линий связи наиболее интенсивно используется дециметровый диапазон волн.

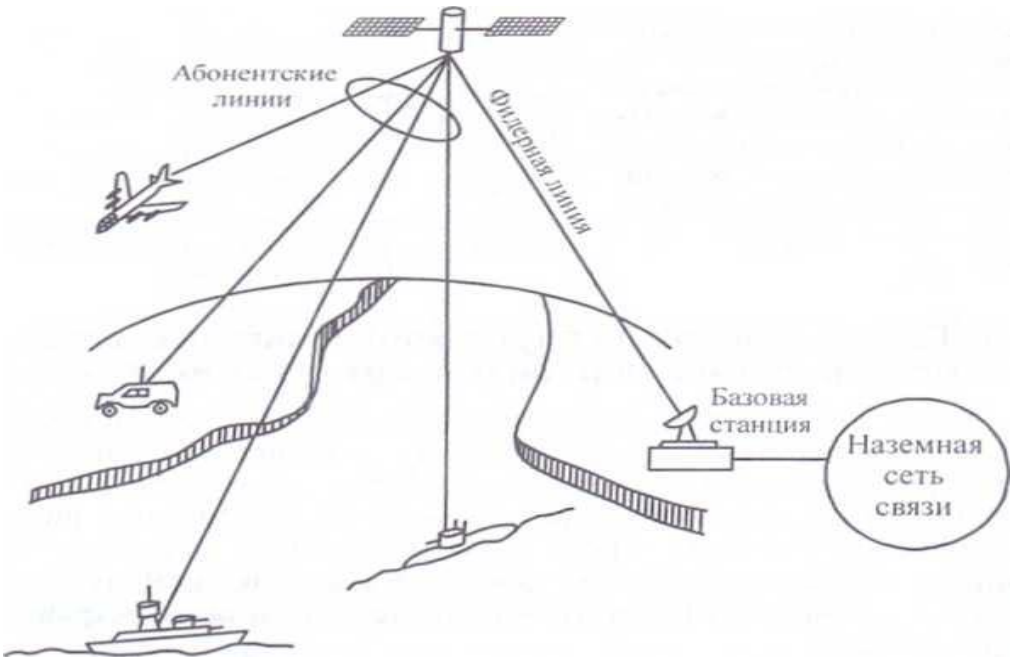

Рисунок 1.1 - Структура спутниковой системы мобильной связи

Направления связи "КА-базовая станция" и "Базовая станция- КА" используют полосы частот, выделенные для фиксированной спутниковой службы в диапазонах 4/6, 7/8, 11/14 ГГц и др. Радиолинии "Базовая станция-КА" и "КА-базовая станция" называются фидерными линиями связи.

Рассмотрим схему (протокол) организации связи на примере международной морской спутниковой системы связи INMARSAT, в которой для абонентских радиолиний используются диапазоны частот 1,5/1,6 ГГц, а для фидерных линий - 4/6 ГГц. Система INMARSATиспользует многостанционный доступ с частотным разделением каналов и метод передачи телефонного сигнала "один канал на несущую", что означает, что мобильные терминалы являются одноканальными. На выделяемой несущей частоте мобильный терминал может работать либо в телефонном режиме, либо в режиме передачи данных, либо в телеграфном режиме (телекс).

В системе INMARSAT для каналов внеполосной сигнализации выделяются одна закрепленная несущая частота в системе для приема запросных сигналов от терминалов или береговых станций и одна закрепленная несущая частота для передачи сигналов управления и сигнализации терминалам и береговым станциям от так называемой координирующей станции системы. В исходном состоянии приемники терминалов и один приемник береговой станции настроены на прием несущей частоты сигналов управления и сигнализации.

При необходимости в связи судовой терминал передает на общей запросной частоте в диапазоне. 1,6 ГГц короткий запросный пакет с указанием типа сообщения (телефон и др.), адреса береговой станции и междугородного или международного номера вызываемого абонента наземной сети общего пользования, к которой подсоединена береговая

станция. Ретранслятор с глобальным лучом принимает запросный сигнал в диапазоне частот 1,6 ГГц, переносит его в диапазон частот 4 ГГц и переизлучает в глобальном луче.

Этот сигнал запроса принимается координирующей станцией сети связи, которая выделяет пару свободных дуплексных частот для связи и по каналу управления передает значения этих частот терминалу и береговой станции вместе с запросным пакетом. Синтезаторы частот терминала и береговой станции автоматически перестраиваются и устанавливают нужные частоты своей приемопередающей аппаратуры. При этом организуются канал связи "Терминал - береговая станция" и обратный канал связи. Затем производится вызов абонента наземной сети связи общего пользования. По окончании связи терминал и береговая станция посылают сигнал "конец связи" в сторону координирующей станции. Освободившиеся частоты связи могут быть предоставлены другим терминалам.

2 Система INMARSAT

Международная организация морской спутниковой связи Inmarsat создана в 1979 г. В ее состав входят 79 государств. Наиболее значительная доля инвестиций различных стран составляет: США - 22,35%, Великобритания - 11,14%, Япония - 9%, Норвегия - 7,83%, Франция - 5,24%, Германия - 4,58%, Россия - 4,43% и Канада - 2,73%. Эксплуатация системы для морских пользователей началась с 1982 г.

В соответствии с международным соглашением, задачей организации является обеспечение безопасности мореплавания и охраны человеческих жизней на море, оповещение о бедствиях, радио определение местоположения судов, координации поисково-спасательных работ на море, повышения эффективности плавания судов и организация коммерческой морской связи. По мере развития системы и роста пропускной способности, были разработаны различные модификации терминалов и реализованы также услуги воздушной и сухопутной службам. По оценкам потребности рынка, к 2000 г. число абонентских терминалов системы Inmarsat достигнет: 300 тыс. - плавучие объекты, 18 тыс. - самолеты, 180 тыс. - персональные пейджеры, 300 тыс. - сухопутные ПО, персональные терминалы, т. е. к указанному сроку число "сухопутных" терминалов примерно в 1,5 раза превысит число мобильных морских и авиа терминалов

2.1 Состав, виды услуг и особенности построения

В состав системы Inmarsat входят:

- космический сегмент, состоящий из рабочих и запасных геостационарных КА с ретрансляторами и командно-измерительного комплекса (наземных станций слежения иДР.);
- наземный сегмент, включающий в себя береговые земные станции

(БЗС), координирующие сетевые станции (КСС) и эксплуатационный контрольный центр (ЭКЦ);

– парк земных станций и терминалов: мобильные (морские суда, самолеты), носимые и стационарные; терминалы используются как для коллективного, так и индивидуального пользования.

Работа системы Inmarsatосуществляется в диапазонах частот, выделенных на первичной основе для подвижной спутниковой службы. Для связи с подвижными абонентами используется Lдиапазон частот: 1626,5-1660,5 МГц (линия "Земля - спутник") и 1525,0-1559,0 МГц (линия "спутник - Земля"). Работа фидерных линий осуществляется в С диапазоне: 6425-6450 МГц (линия "Земля - спутник") и 3600-3623 (3600-3630) МГц (линия "спутник - Земля").

Контроль за работой полномасштабной системы осуществляет эксплуатационный контрольный центр. ЭКЦ обеспечивает прием и обработку информации о состоянии работоспособности всех элементов системы, контролирует характеристики космического сегмента, реализует планы ввода в эксплуатацию новых технических средств.

Береговые земные станции служат промежуточными звеньями между спутниками системы Inmarsatи береговыми абонентами, с которыми они могут соединяться по международным и национальным телефонным и телеграфным сетям. Связь объектов в системе Inmarsat осуществляется только через БЗС. Все береговые станции системы Inmarsatобеспечивают для судов, терпящих бедствие, возможность быстрого соединения по телефонному или телексному каналу со службами, участвующими в поисково-спасательных работах.

В каждой подспутниковой зоне Inmarsat работают несколько стандартных БЗС, одна из которых выполняет функции координирующей сетевой станции. КСС следит за работой спутниковой сети в данном регионе, распределяет пропускную способность ретранслятора между береговыми станциями. В функции КСС входит передача сообщений абонентам сети на основной (1537,750 МГц) или резервной (1538,475 МГц) вызывных частотах, а также ретрансляция ряда других категорий специальных сообщений.

2.1.1 Космический сегмент системы Inmarsat

На первых этапах создания системы Inmarsatсвязь организовывалась через арендуемые у других организаций спутники Marisat, Marecsи lntelsat-5MSC._ В настоящее время орбитальная группировка системы Inmarsat состоит из 6 КА Inmarsat(4 КАтипа Inmarsat-2 и 2 КА типа lnmarsat-3) и 7 КА старого поколения (типа Marisatи lntelsat-5MCS).

Подспутниковая зона орбитальной группировки системы Inmarsatохватывает четыре океанических региона: Атлантический восточный (АОР-В), Атлантический западный АОР-3, Индийский (ИОР) и Тихоокеанский (ТОР). Над каждым из океанических регионов находятся по одному действующему и по два запасных спутника, что обеспечивает

покрытие практически всей поверхности Земного шара, за исключением приполярных районов. В таблице 2.1 приведены состав космического сегмента и точки стояния КА системы Inmarsat.

Таблица 2.1 - состав космического сегмента и точки стояния КА системы Inmarsat.

Океанический	АОР-В	АОР-З	ИОР	ТОР
Основные КА	lnmarsat-2F4 (55° з.д.)	lnmarsat-2F2 (15,5° з.д.) Marecs B2 (15,2° з.д.)	Inmarsat-2 F1 (64,5° в.д.)	Inmarsat-2 F3 (178° в.д.)
Резервные КА	Intelsat MCS-B (50° з.д.)	Intelsat MCS-A (66° в.д.) Marisat F2 (72,5° в.д.)	Intelsat MCS-D (180° в.д.) Marisat F1 (106° з.д.)	Marisat F3 (176,5° в.д.)

Спутники третьего поколения размещаются в следующих орбитальных позициях: 64,5° в.д. (lnmarsat-3F1) и 180,5° з.д. (lnmarsat-3F2).

2.1.2 Космические аппараты Inmarsat-2 и Inmarsat-3

Разработку и изготовление спутника Inmarsat-2 провели фирма BritishAerospace(Великобритания) совместно с фирмами HughesAircraft(США) и Matra(Франция). Конструкция спутника Inmarsat-2 базируется на стандартной платформе Eurostarco стабилизацией по трем осям. Ретрансляционная аппаратура спутников Inmarsat-2 использует стандартные для подвижной морской связи диапазоны частот L(1,6/1,5 ГГц) и С (6/4 ГГц).

Ретранслятор выполнен без обработки информации на борту, т.е. осуществляет прием, усиление и перенос сигналов по частоте. Диаграмма направленности антенных систем оптимизирована для облучения поверхности соответствующего региона Земного шара. Стартовая масса спутника составляет 1200 кг, масса на орбите - 860 кг.

Спутники третьего поколения lnmarsat-3 организуют в Lдиапазоне один глобальный луч и 5 остронаправленных лучей с высокой ЭИИМ (до '46 дБВт),один глобальный луч дляGPS/ «Глонасс» и 2 остронаправленных луча в С - диапазоне, что позволяет уменьшить габариты и существенно снизить требования к ЭИИМ подвижных терминалов. Этот ствол в сочетании с более широкой полосой частот (до 29 МГц) позволил увеличить пропускную способность КА до 1000 телефонных каналов. Основные характеристики КА Inmarsat-2 и lnmarsat-3 приведены в табл. 2.2. Наряду со связным оборудованием, на борту КА Inmarsat-3 установлены навигационные приемники GPS/"Глонасс" сигналов, а также дополнительное оборудование, обеспечивающее ретрансляцию навигационных сигналов, подобные сигналам

систем GPS/"Глонасс"

Таблица 2.2 - Основные характеристики космических аппаратов и ретрансляторов системы Inmarsat

Тип спутника	Inmarsat-2	Inmarsat-3
Спутниковая платформа	Eurostar	Satcom4000
Размах панели с солнечными батареями, м	15,23	20
Масса КА, кг	1200	1900
Мощность СЭП, Вт	1200	1670 (общая) 1440 (L) + 115 (C)
Количество лучей	4 (C диапазон) 1 (L диапазон)	1глобальный (L диапазон) 5 узких (L диапаз он) узких (C диапазон) 1 глобальный (GPS/"Глонасс")
ЭИИМ (L - диапазон)	39	46
Количество эквивалентных телефонных каналов	250 (судно - берег) 150(берег - судно)	1000
Срок службы, лет	10	13
Стоимость КА, млн.	73	80

2.2 Земные и абонентские станции

2.2.1 Береговые земные станции

В настоящее время в системе Inmarsatфункционируют 40 береговых станций, расположенных в различных странах мира, в том числе и на территории СНГ (Одесса и Находка). Эти станции обслуживают абонентов в Атлантическом, Индийском и Тихоокеанском регионах. Береговые станции находятся во владении тех стран, на чьей территории они находятся. Их эксплуатация осуществляется уполномоченными на это организациями национальных администраций.

Алгоритмы работы БЗС и их основные тактико-технические параметры должны находиться в строгом соответствии с требованиями организации Inmarsat. Каждая БЗС имеет закрепленную за ней несущую, которая

уплотняется 22 телеграфными каналами. Телефонные каналы не закреплены за конкретными станциями, а находятся в "общем пользовании". Береговые станции имеют выход в национальные и международные сети телефонной и телексной связи.

Работа абонента, имеющего аппаратуру определенного стандарта, через береговую станцию может осуществляться только в случае, если БЗС имеет соответствующее оборудование. В частности, все БЗС оснащены оборудованием, поддерживающим связь со станциями Стандарта Inmarsat-A. Что же касается высокоскоростного режима передачи данных, то он осуществляется только через некоторые из них. Аналогичная ситуация происходит и с оснащением БЗС оборудованием других стандартов. Так, протоколы Стандарта Inmarsat-Споддерживает около 20 БЗС, причем на территории РФ таких станций нет. Услуги Стандартов Inmarsat-Ми Inmarsat-Впредлагаются еще меньшим числом БЗС, в основном вновь создаваемыми береговыми станциями.

На береговых станциях используются параболические антенны, с диаметром 12-15 м. Стоимость береговой станции в зависимости от комплектации составляет 1,0 - 2,5 млн. долл.

2.2.2 Парк абонентских станций

В системе Inmarsat подвижные объекты оснащаются разными типами оконечного абонентского оборудования, которое должно удовлетворять специфическим требованиям отдельных категорий пользователей, известным как Стандарты. Наибольшее распространение получили следующие виды стандартов.

Стандарт Inmarsat-A. ЗС этого стандарта предназначены для работы в сетях телефонной, факсимильной, телексной и телеграфной связи. Станция оснащена параболической антенной диаметром 0,8 - 1,2 м. Связь устанавливается после набора номера в автоматическом режиме. К настоящему времени выпущена 71 модель станций, разработка новых станций этого стандарта прекращена.

Стандарт Inmarsat-B. Цифровая ЗС, предлагающая расширение функциональных услуг Стандарта А с одновременным снижением их стоимости. Передача речи и данных осуществляется со скоростью 24 кбит/с с использованием модуляции типа QPSKсо сдвигом фазы. Размеры антенны те же, что и для станций Стандарта А. В коммерческую эксплуатацию эта подсистема введена в 1994 г. Планируется, что в ближайшие годы ЗС Стандарта «В» постепенно заменят существующий парк станций Стандарта А. Модели наземных ЗС могут быть размещены в 1-2 чемоданах или же установлены непосредственно на транспортных средствах.

Стандарт Inmarsat-C. Малогабаритная станция персональной связи с ненаправленной или слабонаправленной антенной, обеспечивающая передачу информации в пакетном режиме. Обмен данными, в том числе короткими сообщениями, осуществляется со скоростью 600 бит/с . Организацией

Inmarsatуже одобрено 12 моделей станций Стандарта С в морском исполнении и 8 моделей для других служб. В настоящее время ни в РФ, ни в странах СНГ серийное производство станций Стандарта С не освоено.

Стандарт Inmarsat-M. Малогабаритная станция спутниковой связи, обеспечивающая радиотелефонную и факсимильную связь, передачу данных. Передача информации осуществляется со скоростью 8 кбит/с (данные) с использованием модуляции типа QPSK. Используется антенна диаметром 40 - 50 см, а также ФАР для подвижных наземных объектов.

Стандарт Inmarsat-Mini-M. Малогабаритная станция, предназначенная для радиотелефонной и пейджинговой связи.

Основные характеристики морских и сухопутных терминалов Стандартов А, В, С, Ми Mini-Мприведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Основные характеристики морских и сухопутных терминалов системы Inmarsat

Стандарт	А	В	С	М	Mini-M
Год начала эксплуатации	1976	1992	1991	1993	1997
Скорость передачи, кбит/с	до 64	24 (речь) до 64 (данные)	0,6	ДО 8	4,8 (речь) 2,4 (данные)
Модуляция	ЧМ	QPSK	BPSK	QPSK	BPSK, OQPSK
G/T, дБ/К	-4	-4	-23	-12...-10	н/д
ЭИИМ, дБВТ	36	33	14±2	27	11-17
Полоса,кГц	50	20	. 5	10	10
Стоимость терминала, долл.	25000	25000	5000	15000-25000	4000
Стоимость услуг, долл. /мин	8-12	5,5	1 долл. за 1 кбит	5,5	3

В системе Inmarsat используется несколько типов самолетных станций, предназначенных для обеспечения следующих видов услуг:

• *Inmarsat-Aero-H-* 6-канальная, работающая в режимах: радиотелефонная связь, факс, телекс, высокоскоростная передача данных - для обслуживания экипажей воздушных судов и пассажиров на международных авиалиниях;

– *lnmarsat-Aero-*\ -4-канальная, работающая в режимах: радиотелефонная связь, факс, телекс, высокоскоростная передача данных -

предназначена для обслуживания экипажей воздушных судов и пассажиров на международных авиалиниях;

– *Inmarsat-Aero-L-* одноканальная, режим низкоскоростной передачи данных для обеспечения без опасности полетов воздушных судов;

– *Inmarsat-Aero-C-* одноканальная, режим низкоскоростной передачи данных, удовлетворяющая требованиям Стандарта Inmarsat-C.

Основные параметры терминалов, предназначенных для воздушных судов, приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 -Основные параметры самолетных терминалов стандарта Aero

Стандарт	Aero-H	Aero-l	Aero-L	Aero-C
Число каналов	6	4	1	1
Скорость	2,4...9,6	2,4...4,8	1,2	0,6
ЭИИМ,ДБВТ	22,5-25,5	22,5	13	12-14
G/T, дБ/К	-13	-19	-26	-23
Стоимость, тыс.	250-500	до 250	до 100	н/д

2.3 Система INMARSAT-M

Система цифровой спутниковой телефонной связи Inmarsat-Мявляется первой среди подобного класса систем, которая предоставляет возможность установления и ведения речевого обмена без участия оператора связи. Терминал Inmarsat-Мнаходится в личном пользовании абонента.

Система Inmarsat-Мобеспечивает двухстороннюю телефонную связь (до 8 кбит/с) и передачу данных или факсимильных сообщений (группа G3) со скоростью 2,4 кбит/с. Основная область применения - предоставление услуг пользователям, удаленным от наземных телефонных сетей общего пользования. Система Inmarsat-Мтакже обеспечивает интерфейс для обмена данных в сетях пакетной коммутации (X.25) и электронной почты (X.400).

Для абонентов Inmarsat-Мпредоставляются следующие дополнительные виды услуг:

– введение индивидуальных идентификационных номеров для абонентов, коллективно использующих станцию Inmarsat-M;

– автоматическая регистрация длительности занятия канала станции с выводом данных надисплей или принтер;

– доступ к спутниковому каналу по кредитной карточке и др.

Комплект станции для установки на подвижных объектах включает приемо-передающий терминал и легкую, развертываемую на остановке антенную решетку, которую наводят на геостационарный спутник.

Протоколы работы системы Inmarsat-Мподдерживают около 20 береговых ЗС. Серийное производство станций освоено более чем 10 фирмами в различных регионах мира.

Особенно привлекательна для персональных пользователей последняя модификация станции (Стандарт Mini-M). Масса станции составит 3-5 кг.

Стоимость терминала - около 4000 долл., тариф - 3 долл/мин.

В системе Inmarsat-Мвозможно установление соединений не только с абонентами сетей общего пользования, но также и двух абонентов системы между собой с использованием двойной ретрансляции через береговые ЗС.

Для сухопутных пользователей разработаны два базовых варианта исполнения станции Стандарта-М: "кейс- дипломат" и переносной контейнер.

Терминал типа "кейс-дипломат" представляет собой облегченный вариант носимой, станции, ориентированной преимущественно для персональных пользователей, совершающих деловые поездки. В кейс-дипломат, кроме собственно антенны, размещаемой в крышке, может дополнительно укладываться миниатюрный факс-аппарат или малогабаритное печатающее устройство.

Основные характеристики автомобильного терминала модели CAPSATTT-3062 (фирма Thrane&Thrane): скорость передачи - 5,6 кбит/с (OQPSK) или 3 кбит/с (BPSK), напряжение питания - 10,5-32 В постоянного тока, телефонный интерфейс - RJ-11, масса - 3 кг (массаприемопередатчика - 1,3 кг). Время развертывания и подготовки терминала к работе не более 1 мин.

Контейнерный вариант терминала предназначен для эксплуатации в полевых условиях или для установки на подвижные объекты, включая летательные аппараты. Он имеет значительно больший вес и габариты, его отличает промышленный дизайн и возможность автономного электропитания. Так, терминал Стандарта-М фирмы NECимеет массу порядка 16 кг.

2.4 Система INMARSAT-C

Система Inmarsat-Спредоставляет пользователям следующие виды услуг:

- **Автоматический сбор данных с транспортных средств или судов.** Центр управления может опрашивать подвижные терминалы периодически (через фиксированные промежутки времени) или же в заранее определенные моменты времени.
- **Определение местоположения**. Передаваемые данные о местоположении могут быть получены от наземных систем Deccai Loran-C, спутниковых систем GPS/Глонасс и Transitили другого навигационного оборудования, установленного на подвижном объекте.
- **Координация поисково-спасательных работ.** Система обеспечивает передачу заранее запрограммированных сообщений (путем нажатия одной или нескольких кнопок). Записанные в память терминала аварийные сообщения указывают на последнее местположение подвижного объекта.

– **Отслеживание угона транспортных средств.** В случае угона, вмонтированные в транспортное средство датчики посылают аварийный сигнал на терминал, к нему добавляется информация о местоположении, и сообщение излучается *в* эфир. Принимаемая информация поступает на станцию наблюдения, связанную с соответствующими службами обеспечения без опасности.

2.3.1 Организация связи в системе INMARSAT-C

Абонентские станции системы Inmarsat-Сосуществляют связь с диспетчерскими центрами соответствующих служб через региональные береговые ЗС, выполняющих функции станций сопряжения сети. Структурная схема сети связи системы Inmarsat-C представлена на рисунке 2.1.

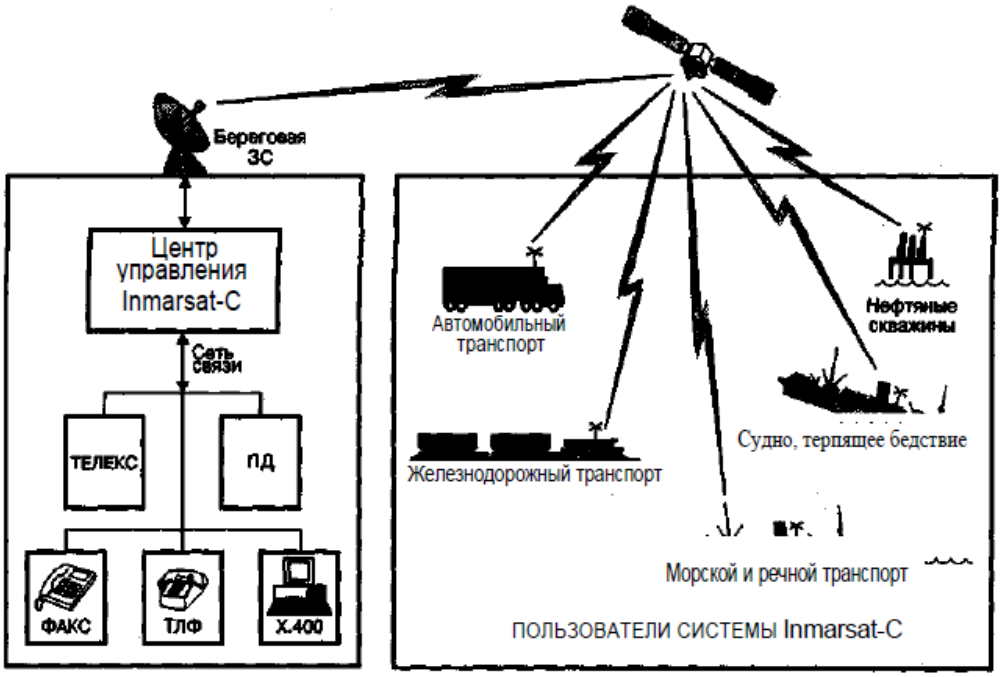

Рисунок 2.1 Структурная схема сети связи системы Inmarsat–C

Сообщения, полученные из наземных сетей, сначала запоминаются на станции сопряжения, а затем преобразуются из исходного формата (телекс, данные и др.) в удобную для передачи в системе Inmarsat-C форму. На процедуру накопления и передачи уходит обычно несколько минут. Однако приоритетные сообщения, типа аварийных, обрабатываются в течение нескольких секунд.

Передача данных в радиоканал осуществляется с использованием фазовой манипуляции и помехоустойчивого кодирования (сверточный код r=1/2, k=7). Метод многостанционного доступа - синхронная Алоха. Длительность кадра - 8,6 с.

Абонентская станция стандарта Inmarsat-C, оборудованная встроенным GPS приемником, позволяет автоматически передавать данные о местоположении объекта в диспетчерский центр.

2.3.1 Дополнительные виды услуг системы Inmarsat-C

Служба FleetNET. Сеть циркулярной связи, позволяющая передавать сообщения неограниченному числу заранее определенных абонентов. FleetNET используется для учета абонентской платы, передачи информационно-справочных данных, организации диспетчерской связи.

Этим перечень услуг не ограничивается. Любая организация может стать провайдером услуг. Пользователям предоставляется возможность модифицирования или изменения параметров группового вызова. Данный вызов может быть осуществлен через ТфОП, по телексу, видеотекстовому терминалу или с ПК, имеющего соответствующее программное обеспечение.

Служба SafetyNet. Выделенная сеть для распространения информации о морской без опасности используется гидрографическими, метеорологическими, береговыми службами безопасности и администрациями, координирующими деятельность поисково-спасательных бригад. Она сходна с FleetNET, но имеет дополнительную возможность автоматического выхода на технические средства района бедствия.

Предоставляемые сетью SafetyNetуслуги включают передачу информации по обеспечению безопасности мореплавания, метеосводки и навигационные предупреждения для управления флотом.

2.3.4 Терминал Inmarsat-C

В системе используется несколько моделей терминалов, отличающихся своими функциональными возможностями и конструктивным исполнением. Дополнительное оборудование, включающее навигационные и телеметрические устройства, может входить в состав терминала или подключаться к нему с использованием стандартного интерфейса.

Терминалы Inmarsat-Сморского исполнения оснащены специальной аварийной системой, которая генерирует и автоматически посылает сообщения о бедствии, включающие данные о местоположении и другие сведения.

Конструктивно терминал состоит из связного модуля и малогабаритной всенаправленной антенны. Основные параметры приемопередатчика: ЭИИМ - 14±2 дБВт (для углов места 5°), добротность G/T= -23 дБ/К, модуляция - QPSK.

В терминале используются следующие интерфейсы:

- Стандартный интерфейс терминала - рекомендация МККТТ V.24/28, 9-штырьковый D-

разъем, скорость 110-9600 бит/с, код ITA-5, максимальная длина кабеля 100 м.

- Стандартный интерфейс принтера - параллельный типа Centronics, 25-контактный D-

разъем, максимальная длина кабеля 4 м.

Сравнительные характеристики двух базовых моделей терминалов Inmarsat-C приведены в таблице 2.3

2.5 Система пейджинговой связи Inmarsat-D

Система глобальной односторонней пейджинговой связи Inmarsat-Dведена с 1995 г. Она является естественным расширением наземной сети пейджинговой связи. Основные услуги, предоставляемые службой пейджинговой связи, следующие:

- передача тонального оповещения (до 4-х видов сигналов);
- передачу цифровых сообщений длиной 32 символа;
- передача буквенно-цифровых сообщений длиной до 128 символов;
- прозрачная служба передачи данных - до 400 символов (напр., иероглифов);
- передача групповых вызовов.

Таблица 2.3 Сравнительные характеристики терминалов Inmarsat-C

Тип терминала	TT-3022D [60]	TNL-7001, Galaxy [62]
Изготовитель	Thrane&Thrane, Дания	Trimble Navigation, США
Размеры (Wx Lx H)	50x180x165	215x245x60
Масса приемопередатчика	1,3 кг	2,9кг
Масса антенны	0,75 кг	2 кг
Объем ЗУ	512 Кбайт	-
Диапазон частот	1525-1559 МГц 1660,5-1575,42 МГц	1530-1545 МГц 1626,5-1645,5 МГц
Шаг сетки частот	1,25/2,5/5 кГц	-
Источник питания	10-32 В	12-24 В (+30% -
Потребление: передача прием	81 Вт 4,8 Вт	105 Вт 12 Вт
Режим энергосбережения (Sleep mode)	1,14 Вт (15 мин) 570 мВт (30 мин) 280 мВт (1 час) 140 мВт (2 часа) 60 мВт (5 часов) 30 мВт (10 часов)	
Рабочие температуры	от -25° С до	от -25° С до +55°
Основные характеристики встроенного GPSприемника		
Число каналов	8	8
Период обновления	1 с	1 с
Навигационный	NMEA	NMEA 0183

Доступ к спутниковой службе принципиально не отличается от существующей схемы организации связи в наземных сетях пейджинговой связи. Короткое буквенно-цифровое сообщение может передаваться

пользователю как с диспетчерского пункта, так и непосредственно с терминала пользователя.

Для организации такого вида связи предполагается создать в различных регионах службы пейджинговой связи, в которых будут регистрироваться пользователи. В случае пребывания в другой стране или регионе абонент должен информировать об этом своего оператора. Возможна передача пейджинговых сообщений одновременно в несколько регионов, однако стоимость такой услуги будет выше.

Пользователь может установить различные атрибуты персонального вызова: число повторов сообщений, время их передачи, категорию срочности. В системе установлены следующие категории срочности: приоритетный (экстренный), срочный, обычный и несрочный. Защита от потери информации осуществляется за счет повторной передачи данных. Все передаваемые сообщения имеют пометки о времени передачи данных и пронумерованы для облегчения поиска.

Наряду с сообщениями персонального вызова, по каналу пейджинговой связи передаются обновляемые данные финансового рынка, информация о погоде, бюллетень новостей.

Пейджер может быть встроен в терминалы lnmarsat-A,-B,-Си -М. Он способен оповещать о вызове в случае, если даже терминал выключен или не готов к работе.

Первым спутниковым пейджером глобального действия является устройство GP1600 (стандарт Inmarsat-D). Компактный, легкий (масса менее 200 г) приемник персонального вызова способен принимать буквенно-цифровые сообщения длиной до 64 знаков. Он имеет достаточную память для хранения сообщений. Пейджер обеспечивает индикацию уровня принимаемого сигнала, в нем предусмотрен режим энергосбережения.

2.6 Система Inmarsat-E

Запуск технически более совершенных и мощных спутников, характеризующихся использованием многолучевых антенн на борту, позволил организовать ретрансляцию данных от аварийных радиомаяков с использованием Ка на геостационарной орбите.

Аэрокосмический научно-исследовательский институт связи в Oberpfaffenhofen (Германия) разработал систему аварийной радиосвязи, работающую в L- диапазоне через спутники системы Inmarsat. Система прошла предварительные испытания на борту нескольких кораблей в районе Атлантического океана (АОР-В). Учитывая, что зоны обслуживания системы Inmarsatохватывают все основные океанические регионы (АОР-В, АОР-З, ИОР и и ТОР), то сообщения с радиобуя могут быть немедленно доставлены на одну из береговых станций. Сбор и обработку аварийных сигналов предполагается осуществить на наземной станции, находящейся в Германии.

Радиобуй Inmarsat-E, наряду с радиобуями системы "Коспас-Сарсат"

(система "Коспас- Сарсат" описана в разделе 8.1), предназначен для оснащения крупнотоннажных морских судов (с водоизмещением более 300 тонн).

В системе Inmarsat-Еиспользуется радиобуй типа EPIRB. Срабатывание радиобуя происходит автоматически при погружении его в воду. Радиобуй передает аварийное сообщение, в котором содержатся координаты места катастрофы и другие сведения об объекте, на котором он установлен. Среднее время ожидания с момента приведения радиобуя в активное состояние до приема сообщения составляет не более 2 мин. Масса радиобуя - 5 кг.

3 Гипотетическая эталонная линия связи

Гипотетическая эталонная линия связи состоит из двух участков: фидерной линии и абонентской линии связи. К фидерной линии связи предъявляются требования, аналогичные требованиям к спутниковым каналам фиксированной службы, в том числе допустимый процент времени появления кратковременных прерываний сигнала, когда BER> КГ^{3}, не должен превышать 0,01% времени любого года.

Для абонентских линий связи, которые подвержены замираниям сигнала, экранированию местными предметами и др., требования высокой надежности связи приводят к чрезмерным энергетическим затратам в радиолиниях, вследствие чего для надежности связи по условиям распространения сигнала должны быть взяты более низкие значения. К настоящему времени для мобильных систем связи не установлены конкретные допустимые проценты времени кратковременных и долговременных прерываний сигнала. МСЭ только для международных систем морской спутниковой связи установил, что надежность связи по условиям распространения сигнала (для долговременных прерываний сигнала) должна быть не менее 99% за любой год. Эту цифру надежности связи целесообразно принять и для кратковременных прерываний сигнала, т.е. допустить BER> 10“^{3} при передаче данных и BER> 10”^{2} для речи не более чем в 1% времени года.

Условия работы и соответственно каналы связи для разных классов мобильных терминалов (морских, авиационных, автомобильных) существенно различаются, и системы спутниковой связи для мобильных терминалов создаются с учетом этих различий.

С точки зрения упрощения антенной системы и станции в целом для мобильного объекта предпочтительно использование метрового и дециметрового диапазонов волн. В настоящее время для геостационарных спутниковых коммерческих систем в этих диапазонах волн выделен только диапазон частот 1,5/1,6 ГГц с полосой рабочих частот 29 МГц. Распределение этой полосы частот между! различными службами показано на рис. 5.25.

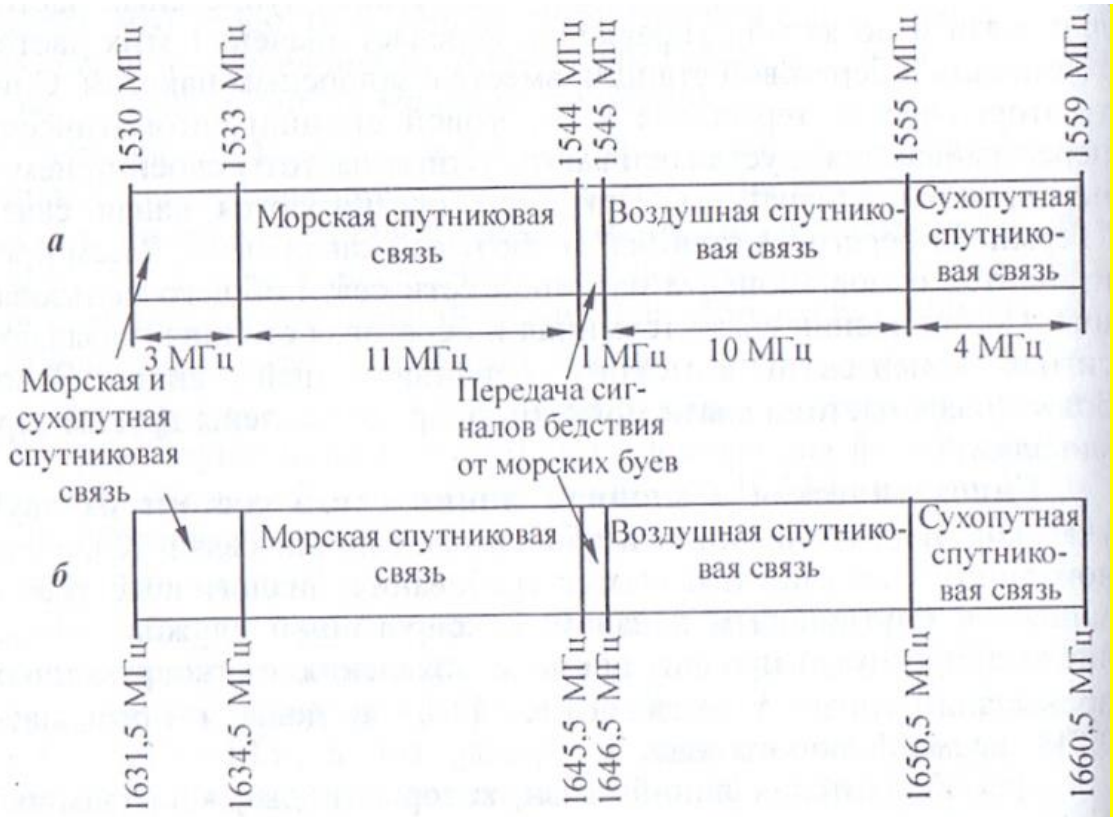

Рис. 5.25. Полосы частот ретранслятора КА:
а – на передачу; *б* – на прием

Рассмотрим связь с морскими судами. Для этой цели используется международная система спутниковой связи INMARSATс четырьмя геостационарными КА над Атлантическим, Индийским и Тихим океанами с глобальными лучами ретрансляторов (над Атлантическим океаном размещается КА с пятью узкими лучами в глобальной зоне обслуживания). Система морской спутниковой связи в принципе должна быть международной, поскольку ни одна страна, за исключением России, не видит одновременно все КА системы INMARSATсо своей территории и все страны должны использовать береговые станции на чужих территориях при связи со своими морскими судами.

Морские терминалы могут работать под малыми углами места, вплоть до нулевого, и испытывают при малых углах места воздействие отраженных от морской поверхности сигналов, попадающих в основной лепесток диаграммы направленности приемной антенны, что приводит к сильным замираниям радиосигнала. Для компенсации замираний сигналов энергетические потенциалы абонентских радиолиний должны быть увеличены (по экспериментальным данным) на 7 дБ для обеспечения надежности связи 99%.

Спутниковые каналы связи с воздушными судами имеют свои особенности. Поскольку самолетная антенна располагается в верхней части фюзеляжа, корпус самолета экранирует часть отраженных от Земли сигналов, так что отношение мощности прямого луча к мощности отраженных лучей

составляет порядка 13 дБ при полете над морской поверхностью. Для достижения надежности связи 99% в этом случае достаточен запас по энергетике абонентских радиолиний на замирания сигнала порядка 4 дБ.

Однако большие задержки отраженных лучей относительно прямого луча при связи с самолетами приводят к межсимвольной интерференции сигналов, ограничивая скорость передачи информации в радиоканале до величины около 9,6 кбит/с.

Системы связи с самолетами гражданской авиации создаются в рамках системы организации воздушного движения (ОВД). Спутниковые каналы связи с самолетами создаются для связи и навигации самолетов для трасс полета, которые не могут обслуживаться наземными радиосредствами. Сюда относятся трассы полетов над океанами, труднодоступными и пустынными местностями. В соответствии с концепцией Международной организации гражданской авиации (ICAO) самолеты, совершающие международные рейсы, должны быть оборудованы приемником спутниковой навигационной системы, с помощью которой определяются координаты воздушного судна, которые периодически в автоматическом режиме должны передаваться от воздушного судна через спутниковый канал связи на наземную диспетчерскую станцию ОВД. ICAOв своих документах определила все технические параметры, форматы сигналов, интерфейсы с аппаратурой воздушного судна и др. для обеспечения совместимости средств связи и навигации всех стран как на Земле, так и в воздухе. Всем требованиям ICAOотвечает, например, самолетная станция системы INMARSAT "Standard-Aero" со скоростью передачи информации 9,6 кбит/с.

Спутниковая связь с сухопутными мобильными терминалами (автомобили, персональная связь) оказалась наиболее трудноосуществимой и находится в начале своего развития. Этот наиболее массовый вид связи определяется в большей степени национальными задачами отдельных стран и создается в рамках региональных систем мобильной и персональной связи.

При использовании геостационарных КА связь с автомобилями в средних и высоких широтах оказывается ненадежной из-за экранирования трассы распространения радиосигнала различного рода препятствиями: деревьями, холмами, зданиями и другими местными предметами. Экспериментально установлено, что для надежной связи (надежность 95—99%) с мобильными и персональными терминалами необходимо обеспечить в спутниковой системе связи углы места терминалов не менее 30—40°. В результате для средних и высоких широт более выгодными оказываются группировки КА на высоких эллиптических орбитах типа "Молния", а также на круговых низких и средних орбитах.

3.1 Система спутниковой мобильной и персональной связи на базе многолучевой антенны ретранслятора геостационарного КА.

Системы спутниковой мобильной связи с глобальным лучом ретранслятора типа INMARSAT из-за недостаточной энергетики радиолиний могут обеспечивать высококачественную телефонную связь только с терминалами с направленной антенной диаметром 0,8—1 м (коэффициент усиления антенны порядка 23 дБ). Такая антенна требует гиростабилизации при работе терминала в движении и управления от датчика курса.

При неуправляемой всенаправленной в верхней полусфере антенне возможна передача информации со скоростью 50—300 бит/с (телетайп, электронная почта).

В региональных системах связи с Зоновым лучом ретранслятора возможно для телефонной связи использование более простых антенн с усилением порядка 12—14 дБ и управлением только в азимутальной плоскости.

Для работы в телефонном режиме с терминалами со всенаправленной в верхней полусфере антенной в диапазоне 1,5/1,6 ГГц необходима многолучевая антенна ретранслятора с диаметром апертуры 6—12 м для обеспечения необходимой энергетики радиолиний, а для работы высокоскоростных мультимедийных линий связи в этом диапазоне частот потребуется многолучевая антеннаКА-ретранслятора с апертурой 20-40 м, что пока выходит за рамки технической осуществимости таких геостационарных КА.

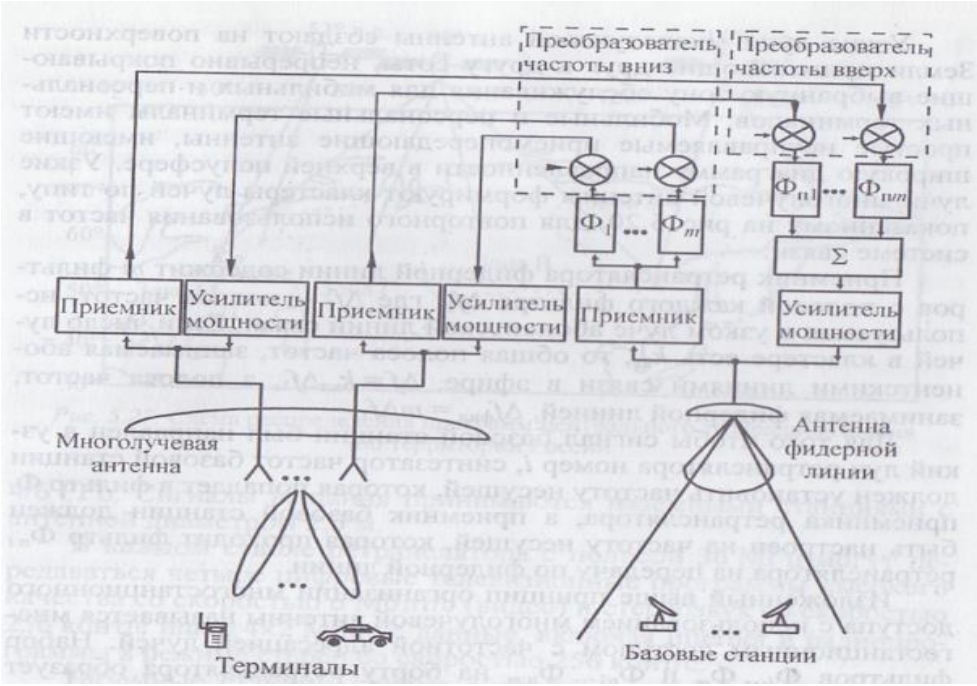

Рисунок 3.2 - функциональная схема ретранслятора с многолучевой антенной для абонентской радиолинии

Принцип построения спутниковой мобильной и персональной системы связи с многолучевой антенной ретранслятора при прямой ретрансляции сигналов поясняется функциональной схемой ретранслятора, показанной на рис. 5.26.

Система спутниковой мобильной и персональной связи является региональной. Антенна ретранслятора фидерной линии связи имеет один зоновый приемопередающий луч, который покрывает всю зону обслуживания, в которой находятся стационарные базовые станции системы и координирующая станция, управляющая трафиком сети связи. Абонентские линии связи используют многолучевую антенну ретранслятора диапазона 1,5/1,6 ГГц с числом лучей *m* = 100 -200, которые создаются, например, с помощью *m* специальных облучателей, смещенных относительно фокуса крупноапертурного отражателя, или с помощью фазированной антенной решетки.

Узкие лучи многолучевой антенны создают на поверхности Земли примыкающие друг к другу соты, непрерывно покрывающие выбранную зону обслуживания для мобильных и персональных терминалов. Мобильные и персональные терминалы имеют простые неуправляемые приемопередающие антенны, имеющие широкую диаграмму направленности в верхней полусфере. Узкие лучи многолучевой антенны формируют кластеры лучей по типу, показанному на рис. 5.20, для повторного использования частот в системе связи.

Приемник ретранслятора фидерной линии содержит *m* фильтров с полосой каждого фильтра А/1, где Д/1 — полоса частот, используемая в узком луче абонентской линии связи. Если число лучей в кластере есть *к*^,то общая полоса частот, занимаемая абонентскими линиями связи в эфире, А/'= А^А/j, а полоса частот, занимаемая фидерной линией, А/фид= л*А*f*\.

Для того чтобы сигнал базовой станции был направлен в узкий луч ретранслятора номер /, синтезатор частот базовой станции должен установить частоту несущей, которая попадает в фильтр Ф,- приемника ретранслятора, а приемник базовой станции должен быть настроен на частоту несущей, которая проходит фильтр Ф„,- ретранслятора на передачу по фидерной линии.

Изложенный выше принцип организации многостанционного доступа с использованием многолучевой антенны называется многостанционным доступом с частотной адресацией лучей. Набор фильтров Ф/... Ф„, и $Ф_{п1}$... $Ф_{п}$„, на борту ретранслятора образует маршрутизатор сигналов, использующий частотный признак сигналов для их маршрутизации.

4 Спутниковые телекоммуникационные системы с использованием КА на средневысотных и низких орбитах

Опыт проектирования низко- и среднеорбитальных спутниковых телекоммуникационных систем показывает, что создание таких систем целесообразно на базе КА малой массы для организации связи с малогабаритными мобильными и стационарными терминалами, т.е. для создания сетей персональной связи.

Телекоммуникационные системы с использованием КА на низких и средних орбитах позволяют обеспечить работу терминалов при больших углах места, что дает возможность избежать экранирования трассы распространения сигнала местными предметами. Этот фактор плюс меньшее расстояние между КА и терминалами позволяют создать высокоскоростные каналы связи с мобильными и персональными терминалами, что труднодостижимо в спутниковых телекоммуникационных системах с геостационарными КА.

Основными специфическими проблемами для телекоммуникационных систем с негеостационарными КА являются: выбор космической группировки КА, выбор диапазона рабочих частот, определение зоны обслуживания КА, выбор числа лучей многолучевой антенны КА. Рассмотрим эти проблемы более подробно.

С учетом влияния радиационных поясов Земли наиболее пригодными орбитами негеостационарных КА являются:

- низкие круговые орбиты с высотами 700—1500 км (международная аббревиатура LEO, LowEarthOrbit*);*
- средние круговые и эллиптические орбиты MEO (MediumEarthOrbit) с высотами 10 тыс. км и 20 тыс. км.

Для создания негеостационарных спутниковых телекоммуникационных систем необходимо выделить для них соответствующие диапазоны и полосы частот и обеспечить электромагнитную совместимость с другими уже существующими системами. Наиболее сложными оказались проблемы электромагнитной совместимости негеостационарных и геостационарных телекоммуникационных систем, работающих в общих полосах частот, а также проблема электромагнитной совместимости нескольких негеостационарных телекоммуникационных систем, работающих в общих полосах рабочих частот.

До 1992 г. частотные полосы для негеостационарных телекоммуникационных систем специально не выделялись. К настоящему времени для негеостационарных спутниковых телекоммуникационных систем выделены следующие диапазоны и полосы частот.

1. Для систем связи с мобильными и персональными терминалами, работающих с низкой скоростью передачи информации в режиме передачи коротких цифровых сообщений или электронной почты и вследствие этого использующих КА малой массы (порядка 45 кг) с однолучевой бортовой

антенной с широкой диаграммой направленности, выделены отдельные узкие полосы частот для абонентских линий в диапазоне 137—400 МГц с общей полосой частот 5 МГц в радиолиниях вниз и 5 МГц в радиолиниях вверх. В таких системах невозможно пространственное разделение радиоканалов связи и поэтому различные негеостационарные телекоммуникационные системы должны работать на разных частотах.

2. Для систем мобильной и персональной связи большой емкости, использующих многолучевые антенны спутникового ретранслятора для организации телефонной связи, а в дальнейшем и для организации высокоскоростных мультимедийных каналов связи со скоростями передачи информации 144 и 384 кбит/с, выделены полосы частот абонентских линий на первичной основе:

- 1610—1626,5 МГц в линиях вниз,
  1613—1626,5 МГц в линиях вверх;
- 1980-2010 МГц в линиях вверх,
  2170—2200 МГц в линиях вниз;
- 2483,5—2520 МГц в линиях вниз,
  2670—2690 МГц в линиях вверх.

Для этих же систем выделены полосы частот фидерных линий в диапазонах 5/7 ГГц (5 ГГц — линия вниз, 7 ГГц — линия вверх) и 20/30 ГГц.

3. Для спутниковых негеостационарных телекоммуникационных систем со стационарными и мобильными терминалами выделены полосы частот:

– 10,7—11,7 ГГц в линиях вниз,

12,75—13,25 ГГц и 13,75—14,5 ГГц в линиях вверх.

Эти полосы частот выделены на вторичной основе так, чтобы излучения средств негеостационарной системы не мешали геостационарным системам связи, работающим в этих же полосах] частот:

– 19,7—20,2 ГГц в линиях вниз;
– 29,5—30,0 ГГц в линиях вверх.

Эти полосы частот выделены на первичной основе. Для геостационарных спутниковых систем связи эти же полосы частот также выделены на первичной основе.

В негеостационарных системах спутниковой связи диапазона 11/14 ГГц, выделенного на вторичной основе, при приближении негеостационарного КА к экваториальной плоскости и проходе через нее необходимо этот КА выключать, чтобы не создавать помех станциям геостационарных систем спутниковой связи. При этом наземные станции негеостационарной спутниковой телекоммуникационной системы должны быть перенацелены на другой ближайший КА.

На негеостационарных орбитах можно разместить при одинаковых угловых разносах между КА в десятки и сотни раз больше КА по сравнению с геостационарной орбитой, поэтому пропускная способность негеостационарных спутниковых телекоммуникационных систем

потенциально много больше пропускной способности соответствующих геостационарных спутниковых систем.

5 Расчетная часть

5.1 Расчет линии связи персонального вызова

Судно, находящееся в Каспийском море, посылает сообщение в виде сигнала передачи данных на мобильный телефон сотовой связи в г. Алматы через спутник INMARSAT.

Система связи состоит из нескольких участков: абонентская линия: судно-спутник (участок вверх), фидерная линия: спутник – ЗС (Алматы) (участок вниз), абонентская линия сотовой связи: БС-МС (прямой канал)

5.2 Расчет абонентской линии «судно-спутник»

Исходные данные:

Координаты судна	45° с.ш. и 5° в.д.
Координаты спутника «INMARSAT»	65° в.д.
Диапазон частот F	1,5-1,6 ГГц
Диаметр антенны ЗС, D_A	0,8 м
Кпд АФТ,$\eta_{ЗС}=\eta_{КС}$	0,9
Коэффициент шума приемника спутника, $К_{Ш_{КС}}$	6
Шумовая температура антенны спутника , $Т_{А_{КС}}$	40К
Коэффициент усиления антенны спутника, $Ga_{кс}$	30дБ
Отношение сигнал-шум на входе приемника спутника,(Рс|Рш)вх	12дБ

5.2.1Длина волны излучения

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\cdot 10^8}{1.6\cdot 10^9} = 0{,}18\text{м} \qquad (5.1)$$

5.2.2 Наклонная дальность между ЗС и КС

$$d = 42644\cdot\sqrt{1-0.2954\cdot\cos\psi}$$
$$\cos\psi = \cos\xi\cdot\cos\beta; \qquad (5.2)$$
$$\cos\beta = 45°\text{с. ш.}$$

$$\cos\varphi = 65° - 50° = 15°$$

$$d = 42644\sqrt{1 - 0.2954\cos 45°\cos 15°} = 42644\sqrt{1 - 0.2954 \cdot 0.707 \cdot 0.966} =$$

$$=38099км$$

5.2.3 Суммарная шумовая температура на входе приемника спутника

$$T_{\Sigma} = T_{А} + T_{0} \cdot \left(\frac{1-\eta}{\eta}\right) + \frac{T\rho r}{\eta}, \qquad (5.3)$$

где T_A – шумовая температура антенны КС;

η – КПД АФТ КС;

$$T_{ПР}=T_0 \cdot (K_{Ш}-1), \qquad (5.4)$$

где T_0=290°К;

$K_{Ш}$ – коэффициент шума приёмника КС;

$$T_{пр} = 290(6 - 1) = 1450 \text{ К}$$

$$T_{\Sigma} = 40 + 290\left(\frac{1-0,9}{0,9}\right) + \frac{1450}{0,9} = 1683 \text{ К}$$

5.2.4 Коэффициент усиления земной станции

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2}, \qquad (5.5)$$

где D – диаметр антенны ЗС, м;

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

G-коэффициент усиления земной станции

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

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2} = \frac{10 \cdot 0.8 \cdot 0.8^2}{0.18^2} = 800$$

$$G_{ЗС}=10 \cdot \lg(800) = 29 \text{ дБ}.$$

5.2.5 Мощность передатчика земной станции

$$P_{ЗС} = \frac{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L\partial on \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{ш}}{\lambda^2 \cdot G_{ЗС} \cdot G_{КС} \cdot \eta_{ЗС} \cdot \eta_{КС}} \cdot \alpha \left(\frac{P_C}{P_ш}\right)\Sigma, \qquad (5.6)$$

формула (5.6) позволяет определить необходимую мощность передатчика по заданному значению мощности сигнала на входе приемника. Когда передающая антенна имеет постоянный коэффициент усиления на всех частотах, а приемная — эффективную постоянную площадь аппаратуры (может эффективно работать по мере возрастания частоты), мощность сигнала на входе приемника в первом приближении не зависит от частоты (в действительности некоторая зависимость от частоты имеется, так как $L_{доп}$ в значительной степени определяется диапазоном частот).

Где:

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

$\Delta f_ш$ – эффективная полоса частот ЗС;

a=5 дБ (3,16);

$\left(\frac{P_C}{P_Ш}\right)$=12 дБ (15,8);

$$P_{прд} = \frac{16 \cdot 3{,}14^2 \cdot 3{,}8^2 \cdot 10^{14} \cdot 1{,}58 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 1683 \cdot 0{,}25 \cdot 10^6 \cdot 3{,}16 \cdot 15{,}8}{0{,}18^2 \cdot 800 \cdot 1000 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9}$$

$$P_{прд} = 5 \text{ Вт}$$

$$P_{ЗС}=10 \cdot \log(5)=7 \text{ дБ}.$$

Абонентские станции спутниковой связи имеют выходную мощность 3-8 Вт

5.2.6 Ослабление сигнала на участке ЗС→КС

$$L_o = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2}, \qquad (5,7)$$

$$L_0 = \frac{16 \cdot 3.14^2 \cdot 3.8^2 \cdot 10^{14}}{18^2 \cdot 10^{-4}} = 7 \cdot 10^{18}$$

$$L_0 = 10 \cdot \log(7 \cdot 10^{18}) = 188{,}5 \text{ дБ}$$

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 земнойстанции.

5.2.7 Уровень сигнала на входе приемника КС.

$$P_{пр}=P_{прд}+\upsilon_{ЗС}+G_{ЗС}+G_{КС}+\upsilon_{КС}-L_0, \qquad (5,8)$$

$$P_{пр}=7-0.45+29+30-0.45-188.5=-121.6 \text{ дБ}$$

Чувствительность приемника КС Е = -128 дБ следовательно приём возможен

5.3 Расчет фидерной линии КС-ЗС (Алматы)

Исходные данные:

Координаты ЗС	45,5°с.ш. 77°в.д.
Координаты КС	65° в.д.
Спутник «INMARSAT» работает в диапазоне «С» 4/6 ГГц. Т.к. фидерная линия представляет участок «вниз», следовательно f	4 ГГц
Коэффициент усиления антенны спутника, $G_{КС}$	33 дБ
Эффективная полоса частот, Δf	29 МГц
Шумовая температура антенны ЗС, $T_{A_{ЗС}}$	45 К
Кпд АФТ, $\eta_{КС}=\eta_{ЗС}$	0,9
Коэффициент шума приемника ЗС, $К_{Ш_{ЗС}}$	5
Отношение сигнал-шум на входе приемника ЗС, $\left(\frac{P_c}{P_ш}\right)$ вх	11 дБ (12,6)
Коэффициент запаса на участке вниз, В	1.2 дБ (1,31)
Диаметр антенны ЗС, D_a	1,2

5.3.1 Длина волны

$$\lambda=\frac{c}{f} \qquad (5.9)$$

$$\lambda=\frac{c}{f}=0,075 \text{ м}$$

5.3.1 Наклонная дальность

$$d = 42644\sqrt{1 - 0.2954\cos\beta \cdot \cos\varphi} \qquad (5.10)$$

$$\beta = 42{,}5°\text{с. ш.}$$

$$\varphi = 12°$$

$$d = 42644\sqrt{1 - 0.2954\cos 42{,}5° \cos 12°}$$

$$d = 42644\sqrt{1 - 0.2954 \cdot 0.7372 \cdot 0.975} = 37845 \text{ км}$$

5.3.2 Суммарная шумовая температура на входе приемника ЗС

$$T_{\Sigma} = T_{А} + T_0 \cdot \left(\frac{1-\eta}{\eta}\right) + \frac{T\rho r}{\eta}, \qquad (5.11)$$

где T_A – шумовая температура антенны КС;
η – КПД АФТ КС;

$$T_{ПР} = T_0 \cdot (K_{Ш} - 1), \qquad (5.12)$$

где T_0=290°К;
$K_{Ш}$ – коэффициент шума приёмника КС;

$$T_{ПР} = 290(5-1) = 1160 \text{ К},$$

$$T_{\Sigma} = 45 + 290\left(\frac{1-0{,}9}{0{,}9}\right) + \frac{1160}{0{,}9} = 1899 \text{ К}$$

5.3.3 Коэффициент усиления антенны ЗС

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2} \qquad (5.13)$$

где D – диаметр антенны ЗС, м;
λ – длина волны для участка «вверх», м;
G-коэффициент усиления земной станции

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot 0.8 \cdot 1.2^2}{0.075^2} = 2048$$

$$G_{ЗС} = 10 \cdot \lg(2048) = 32 \text{ дБ}.$$

5.3.4 Мощность передатчика КС

$$P_{прд} = \frac{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L_{доп} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \Delta f}{\lambda^2 G_{ЗС} G_{КС} \cdot \upsilon_{ЗС} \cdot \upsilon_{КС}} b \cdot \left(\frac{P_с}{P_ш}\right) вх \qquad (5.14)$$

$$P_{прд} = \frac{16 \cdot 3{,}14^2 \cdot 3{,}7845^2 \cdot 10^{14} \cdot 1{,}58 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 1899 \cdot 29 \cdot 10^6 \cdot 1{,}31 \cdot 12{,}6}{0{,}075^2 \cdot 2048 \cdot 1995 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9}$$

$$P_{прд} = 2{,}5 \text{Вт } (4 \text{дБ})$$

Полученная величина показывает, что для передачи данного сигнала не затрачена мощность передатчика полностью. Если на ЗС применить антенну с диаметром 0,5м, то $P_{прд}$ = 14,4 Вт (11,6дБ), есть запас мощности.

5.3.5 Ослабление сигнала

$$L_0 = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2}, \qquad (5.15)$$

$$L_0 = \frac{16 \cdot 3.14^2 \cdot 3.7845^2 \cdot 10^{14}}{75^2 \cdot 10^{-6}} = 1{,}7 \cdot 10^{20} \ (201{,}4 \text{дБ})$$

5.3.6 Уровень сигнала на входе приемника ЗС

$$P_{пр} = P_{прд} + \eta_{КС} + G_{КС} + G_{ЗС} + \eta_{ЗС} - L_0$$
$$P_{пр} = 11{,}6 - 0{,}45 + 33 + 53 - 0{,}45 - 201{,}4 = -104{,}7 \text{ дБ}$$

Полученная величина выше чувствительности приёмника ЗС Е=-115дБ. Приём возможен

5.4 Расчет абонентской линии сотовой связи. БС-МС (прямой канал)

В приемной земной станции фидерной линии сигнал, принятый со спутника, усиливается, преобразуется в промежуточную частоту, усиливается на $f_{пр}$ и детектируется, на выходе детектора происходит контроль качества переданного информационного сигнала и он поступает на вход базовой

станции сотовой связи, где модулирует несущую 1850 МГц, т.к. используется система GSM

Исходные данные:

Мощность передатчика БС, $P_{прд}$	20 Вт
Несущая частота	1.85 Ггц
Чувствительность приемника МС, $E_{вн}$	-100 дБм
Коэффициент усиления антенны БС, G_A	12,5дБ
Коэффициент нестабильности из-за неравномерностей диаграммы направленности антенн, $\sigma_{пр} = \sigma_{прд}$	-15дБ
Отношение сигнал-шум на входе приемника МС, $(S/N)_{вх}$	10дБ
Высота антенны БС, $h_{БС}$	10м
Температура окружающей среды, t°	20
Процент приемных пунктов, В%	60
Процент времени превышения расчетной величины поля в точке приема,$B_{зам}$	50
Полоса частот передаваемого сигнала, Δf	200кГц
Параметры рельефа местности, h_1	140м
Параметры рельефа местности, h_2	110м
Параметры рельефа местности, h_3	125м
Параметры рельефа местности, h_4	85м
Параметры рельефа местности, $h_{эф}$	15м

По методике МККР и «Рекомендации 370» необходимый уровень напряженности в точке приема определяется по формуле:

$$E_{необх} = N_Ш + \left(\frac{S}{N}\right)_{ВХ} + B_P + B_{h_{БС}} - B_{\%} + B_{ЗАМ} + B_{РЕЛ} - \sigma_{ПРМ} - \sigma_{ПРД}, \qquad (5,16)$$

где $E_{необх}$ – необходимый уровень напряженности в точке приема, дБ;

$N_ш$ – уровень шумов в точке приема, дБ;

$(S/N)_{вх}$ – отношение сигнал/шум на входе приемника, дБ;

B_p – поправка на отличие мощности передатчика от 1 Вт, дБ;

$B_{h_{БС}}$ – поправка на отличие высоты установки антенны базовой станции (БС) от 10 м, дБ;

$B_{\%}$ – поправка на медленные замирания, учитывающая отличие количества пунктов успешной связи от 50 %, дБ;

$B_{зам}$ – поправка на быстрые замирания, учитывающая отличие количества успешных сеансов связи от 50 %, дБ;

$B_{рел}$ – поправка на реальный рельеф местности, дБ;

$\sigma_{прМ}$, $\sigma_{пРД}$ – поправки на неравномерность диаграмм направленности приемной и передающей антенн, дБ.

5.4.1. Напряжение шумов

$$N_{ш} = 10 \lg (U^2_{шсоб} + U^2_{швнеш}), \qquad (5,17)$$

5.4.2. Мощность внешних шумов равна мощности тепловых шумов.

$$P_{ш} = k \cdot T \cdot \Delta f_{эф} = \frac{U^2_{ш}/4}{R_A} \qquad (5,18)$$

$$U^2_{ш\ внеш} = 4kTf_{эф} \cdot R_A \qquad (5,19)$$

$$U^2_{ш\ внеш} = 4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 50 = 5.5 \cdot 10^{-4} мкВ^2$$

5.4.3. Мощность собственных шумов, приведенных ко входу приёмника МС в Астане

$$U_{ш\ собст} = \frac{E_{вн}}{(S/N)вх \cdot l_д},$$

$$где \left(S/N\right)вх = 10\ дБ = 10^{10/20} = 10^{0,5} = 3,16 \qquad (5,20)$$

$l_д$ – действующая длина антенны МС

$$l_д = \lambda/\pi = \frac{3\cdot10^8}{1.85\cdot10^9\cdot3.14} = 0.05м$$

$$E_{вн} = -100дБм = 10^{\frac{-100}{20}} = 10^{-5} = 10^{-2}мкВ$$

$$U_{ш\ собст} = \frac{10^{-2}}{3{,}16\cdot0{,}05} = 6{,}3\cdot10^{-2}мкВ$$

$$N_ш = 10\lg(5.5\cdot10^{-4} + 40\cdot10^{-4}) = 10(-4+1.65) = -23.5дБ$$

5.4.4. Поправка по мощности

$$B_р = 10\lg\frac{1000}{P_{прд}} + A - G_A, \qquad (5{,}21)$$

где $P_{прд}$ – мощность передатчика, Вт;
A – потери в антенно-фидерном тракте передатчика, дБ.
Они определяются, исходя из высоты подвеса антенны (длина фидера) и затухания α на один погонный метр коаксиального кабеля (см. таблицу 5.1).

Таблица 5.1 – Параметры коксиальных кабелей

Марка кабеля	Волн.сопр., $r_ф$, Ом	Затухание а, дБ/м на частотах, МГц				
		66	400	1500	1650	2000
РК-50-2-11(РК-149)	50	-	-	0,75	0,85	0,97
РК-50-2-13(РК-19)	50	-	-	0,85	0,9	1,03
РК-50-3-11(РК-159)	50	-	-	0,77	0,83	0,95
РК-50-7-11(РК-147)	50	-	-	0,49	0,51	0,56
РК-50-7-15(РК-47)	50	-	-	0,5	0,52	0,56
РК-50-11-11(РК-148)	50	-	-	0,32	0,34	0,38
РК-50-11-13(РК-48)	50	-	-	0,35	0,37	0,4
РК-75-4-11(РК-101)	75	0,08	0,3	0,58	0,62	0,72
РК-75-4-15(РК-1)	75	0,08	0,28	0,58	0,62	0,72
РК-75-7-11	75	0,05	0,18	0,47	0,52	0,65
РК-75-7-12	75	0,05	0,19	0,5	0,55	0,66
РК-100-7-11(РК-102)	100	-	-	0,21	0,25	0,33
РК-100-7-3(РК-2)	100	-	-	0,37	0,41	0,45
РК-5/18	70	-	-	0,067	0,085	0,12
РКД-2-7/28	75	-	-	0,047	0,052	0,162
РКД-2-9/33	70	-	-	0,039	0,043	0,052
РК-75-3-11(РК-67)	75	0,095	0,34	-	-	-
РК-75-4-12(РК-149)	75	0,1	0,3	-	-	-
РК-75-4-16(РК-49)	75	0,1	0,31	-	-	-
РК-75-4-17(РК-66)	75	0,065	0,24	-	-	-
РК-75-7-12(РК-120)	75	0,06	0,18	-	-	-
РК-75-4-21(РКТФ-1)	75	0,07	0,27	-	-	-

РК-75-7-21(РКТФ-3)	75	0,045	0,15	-	-	-
РК-75-17-11(РК-5)	75	0,014	0,043	-	-	-
РК-75-4-22(РКТФ-49)	75	0,08	0,27	-	-	-
РК-75-7-16(РК-20)	75	0,05	0,19	-	-	-
РК-75-7-17(РК-77)	75	0,05	0,18	-	-	-
РК-75-7-18	75	0,03	0,14	-	-	-
РК-75-9-12(РК-3)	75	0,043	0,15	-	-	-
РК-75-9-13(РК-103)	75	0,038	0,14	-	-	-
РК-75-13-12	75	0,02	0,06	-	-	-
РК-75-17-12(РК-108)	75	0,028	0,07	-	-	-

где A=$\alpha(h_{\text{БС}}+5)$

A = 0,750(10+5) = 11,25

$$B_{\text{р}} = 10\lg\frac{1000}{20} + 11.25 - 12.5 = 17 + 11.25 - 12.5 = 15.75$$

5.4.5. Поправка на высоту подвеса антенны

$$B_{h_{\text{БС}}} = 10lg\frac{10}{h_{\text{БС}}} = 10lg\frac{10}{10} = 0\text{дБ}$$

5.4.6. Поправка, определяемая процентов приемных пунктов, $B_{\%}$

Согласно исходных данных процент приемных пунктов - 60, следовательно поправка$B_{\%}$ =-2дБ (см. таблицу 5.2)

Таблица5.2 – Величина поправки $B_{\%}$ (дБ)

Процент приемных пунктов	50	60	70	80	90	95	98
Величина поправки, дБ	0	-2	-5	-7.5	-11	-14	-17

Таблица 5.3 - Величина поправки $B_{зам}$ (дБ)

Процент времени превышения расчетной величины поля в точке приема		50	90	99.5
Поправка, дБ	100 МГц	0	2	6
	300 МГц	0	4	10
	1000 МГц	0	6	14

5.4.7. Поправка, определяемая параметрами рельефа

Поправка $B_{рел}$, учитывающая реальный рельеф местности между базовой и абонентской радиостанциями.

$h_1 = 140$м

$h_2 = 110$м

$h_3 = 125$м

$h_4 = 85$м

$h_{эф} = 15$м

Эта поправка определяется как функция максимального перепада рельефа Δh на расстоянии между базовой и абонентской радиостанциями. Эта величина оценивается от –5 дБ при условиях прямой видимости до примерно +5 дБ при перепаде высот Δh более 200 м. При первоначальных расчетах принимают $B_{рел}$= 0.

Dh определяется как разница высот (отметок) местности между самой высокой возвышенностью и самой глубокой впадиной на участке распространения в данном направлении. При этом высота возвышенности уменьшается на 10%, а глубина впадины берется равной 90% от вершины (см.рисунок 2.1). В документах МККР (Рекомендации 370-4) это расстояние рекомендуется отсчитывать в пределах 10...50 км в направлении от передатчика к точкам приема. В документах ОИРТ его рекомендуют брать в пределах 30...40 км от приближенно предполагаемой границы зоны приема в сторону передающей станции . Второй подход предпочтителен, поскольку на уровень сигнала гораздо сильнее влияют неровности местности, расположенные перед приемными антеннами.

Значение *Dh* удобно найти из статистического распределения высот предметов на местности. Выбор высот должен быть таким, чтобы они охватывали все крупные предметы (детали рельефа). Обычно бывает достаточно взять 30 значений высот через 1 км. Поправка на рельеф (см.рисунок 5.3).

По грубой оценке параметр *Dh* равен половине среднего значения высот холмов или гор от подошвы до вершины на рассматриваемом участке. На наклонных трассах следует отсчитывать от линии, проходящей через середину неровностей. При этом определяется Z_{CP}, позволяющая определить эффективную высоту подъема антенны $h_{1эф}$ (см.рисунок 5.2)

$$h_{1эф} = h_1^* - Z_{CP}, \qquad (5,22)$$

где h_1 – высота подъема антенны над уровнем моря (определяется как сумма высоты над уровнем моря места установки опоры БС и высоты подъема антенны БС на опоре – опору (БС) желательно ставить на самой высокой площадке на данной местности, но это получается не всегда).

Параметр Dh,м, позволяет вести условную классификацию типов местности:

Dh, м

Равнинная или водная поверхность ……..0…25

Равнинно-холмистая (среднепересеченная)……..... 25…75

Холмистая (сильнопересеченная)…..…… 75…150

Гористая……...……...……....150…400

Очень высокие горы, не менее …….…… 400

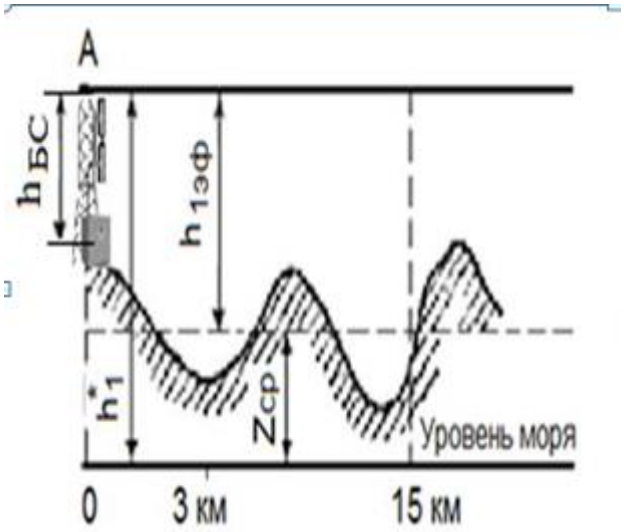

Рисунок 5.2 – Определение эффективной высоты подъема антенны БС $h_{1эф}$

$$\Delta h = (h_{max} - 0.1h_{max}) - (h_{min} + 0.1h_{\min}), \qquad (5,23)$$

$$\Delta h = (140 - 14) - (85 + 8.5) = 32.5м$$

По рис 5.3 для частоты 1000МГгц и степени неровности местности $\Delta h = 32.5$ определяем величину поправочного коэффициента рельефа местности

$B_{рел} = -4дБ$

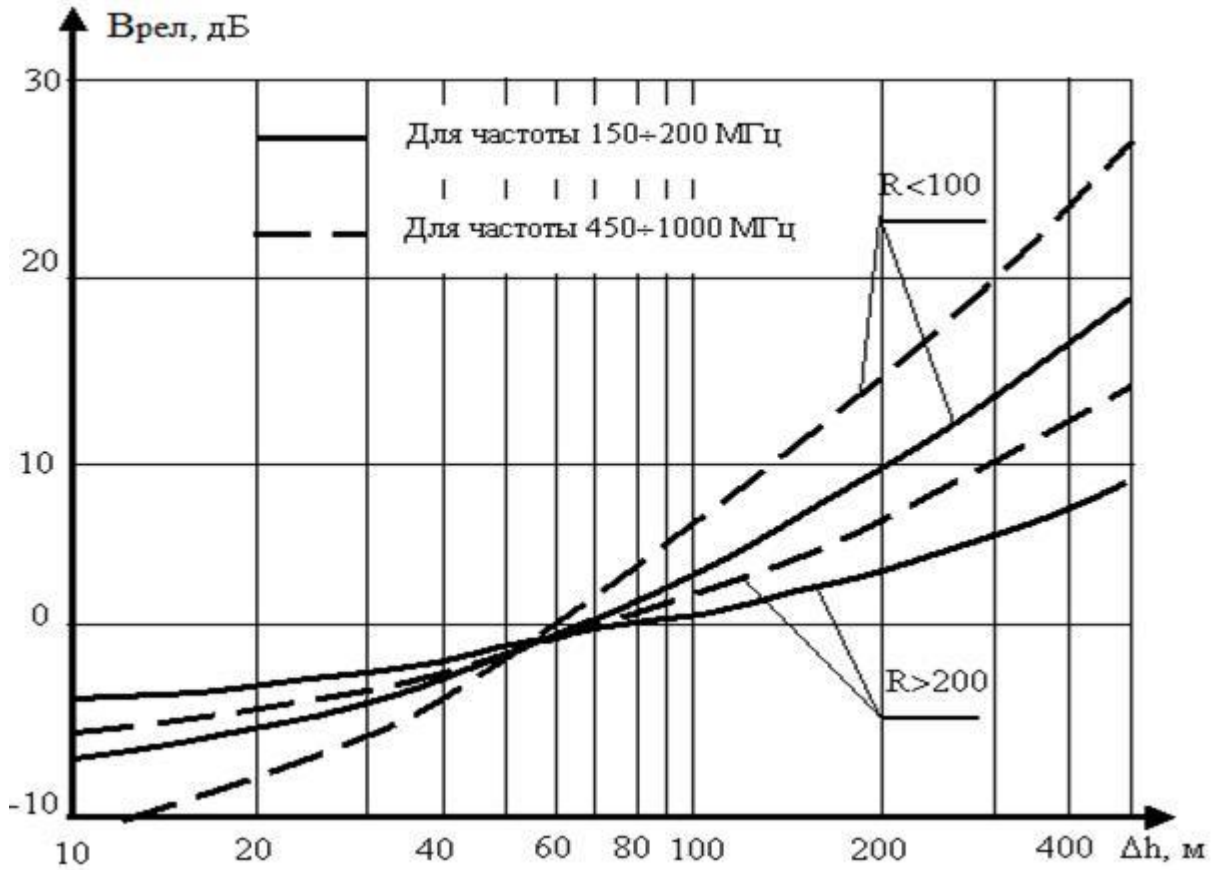

Рисунок 5.3 – Зависимость поправочного коэффициента $В_{РЕЛ}$ от степени неровности местности на расстояниях 20 ...100 км

$$h_1^{!} = h_{max} + h_{БС} = 140 + 10 = 150м$$

$$Z_{ср} = \frac{140 + 110 + 125 + 85}{4} = 115м$$

$$h_{эф} = h_1^{!} - Z_{ср} = 150 - 115 = 35м$$

$$В_{рел} = -4дБ$$

5.4.8. $Е_{необх} = -23{,}5 + 10 + 15{,}75 + 0 - 2 + 0 - 4 + 30 = 26{,}25дБ$

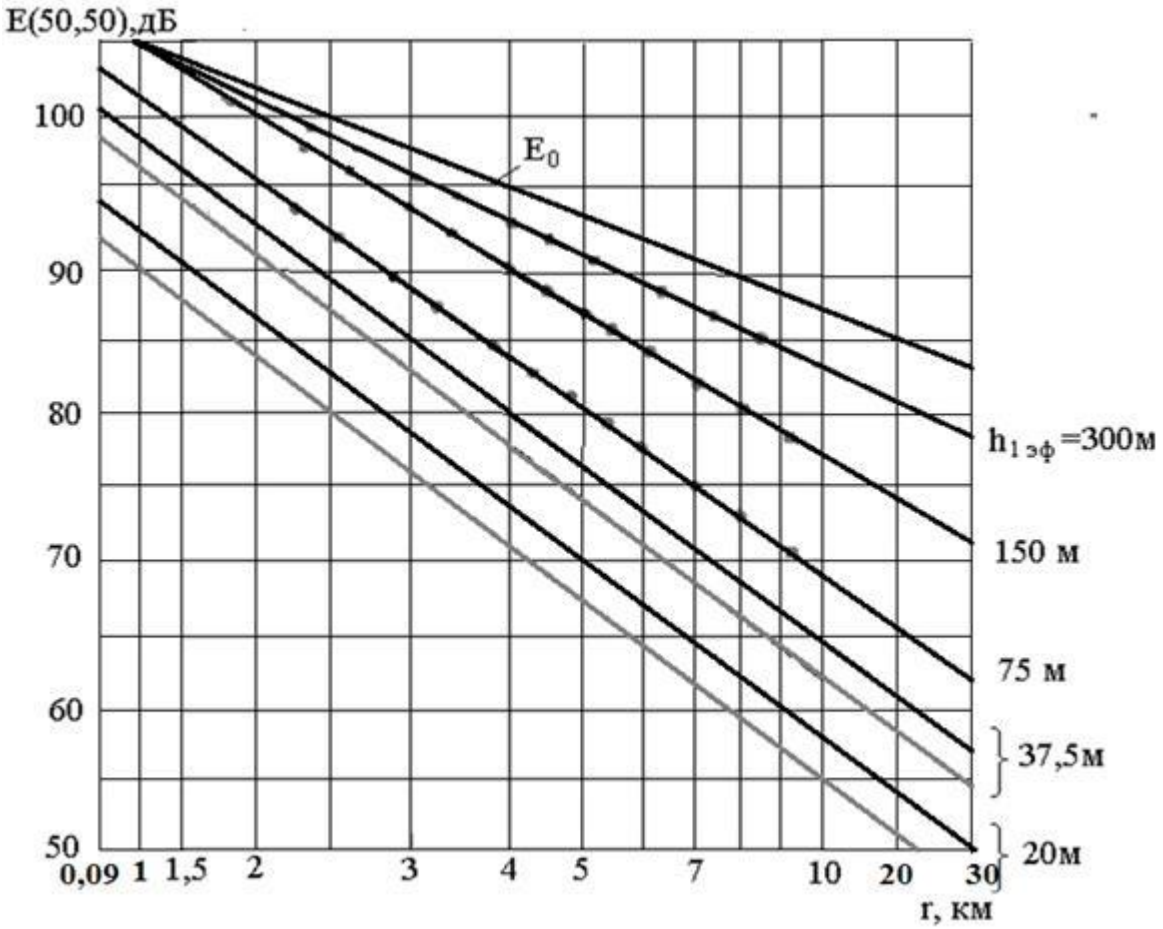

Рисунок 5.4 – Зависимость медианного значения напряженности поля от расстояния на равнинно-холмистой местности (темная линии для метрового диапазона, светлая – для дециметрового)

Согласно графика рис 5.4. для $h_{эф} = 35м$ *при* $E_{необ} = 50дБ$ дальность связи более 30 км, следовательно в рассчитанном случае требуется еще меньший уровень сигнала для покрытия такой дальности.

Составим структурную схему линии связи персонального вызова с использованием геостационарного спутника INMARSAT

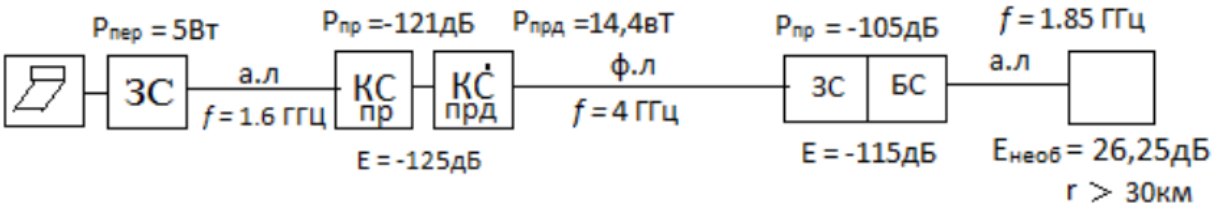

Рисунок 5.5 – Структурная схема системы связи персонального вызова

6 Выводы по расчету системы связи персонального вызова

№	Наименование участка линии	Расчетные параметры	Технические характеристики
1	Абонентская линия судно-КС	*f = 1,6 ГГц* $P_{ЗС}$ *= 5Вт*	Диапазон частот абонентских линий 1,5/1,6 ГГц. Мощность передатчика абонентской ЗС = 3-8Вт
		Уровень принимаемого сигнала на входе приемника КС = -121,6 дБ	Чувствительность приемника КС = -125 дБ
2	Фидерная линия КС-ЗС	Мощность передатчика КС 14,4 Вт *f = 4 ГГц*	Мощность передатчика КС D_{max}=30 Вт Диапазон частот «С» = 4-6 ГГц, участок «вниз» = 4 ГГц
		Уровень сигнала на входе приемника ЗС -105 дБ	Уровень сигнала на входе приемника ЗС -105 дБ
3	Абонентская линия БС-МС	*f*= 1.85 Ггц $E_{необ}$= 26 дБ r>30км	Диапазон частот в прямом канале GSM 1805 ÷1880 МГц r>30км

6 Бизнес - план

6.1. Резюме

Капитальные вложения, необходимые для реализации проекта составляет 284 094 540 тенге. Эксплуатационные расходы составили 152 808 719 тенге. Этот проект является привлекательным объектом для инвестиций, поскольку экономическая эффективность проекта период возраста инвестиций составляет 2 года и месяц.

Проект будет финансироваться за счет Фонда Национального Благосостояния «Самрук-Казына» для управления регионального акиматами, через центральную станцию, расположение которого будет находиться в Астане.

6.2 Компания и отрасль

АО «Самрук-Казына» — холдинг по управлению государственными активами РК,, которая находится под контролем правительства. АО «Самрук-Казына» создан для повышения конкурентоспособности и устойчивости национальной экономики.

Таблица 6.1- Экономические показатели 2014 года АО «Самрук-Казына» [10]

Активы, млн. тенге	18 090 000
Собственный капитал, млн. тенге	8 874 000
Обязательства, млн. тенге	9 216 000
Доходы по итогам 2014 года, млн. тенге	6 012 000
Чистая прибыль по итогам 2014 года, млн .тенге	522 000
ROE в 2014 году	5,9 %
ROA в 2014 году	2,9 %
Численность сотрудников всего холдинга ,тыс. чел.	358

В составе ФНБ «Самрук-Казына» находится большое количество дочерних компаний по всему Казахстану.

6.3 Описание услуги

Компания Самрук-Казына является очень крупной компанией. Система проектирования спутниковой связи по всему Казахстану для управления областными Акиматами способствует развитию и укреплению национальной экономики, которая является основной целью компании.

Спутниковые системы связи широко распространены по всему миру, а также спутниковые системы связи являются перспективным и выгодным вложением средств.

Спутниковые системы позволяют передавать различные типы информации, такие как передача видеоизображений, телефонного обмена и обмена данными.

Цель бизнес-плана - экономическое обоснование эффективности организации системы связи с города Астаны с региональными центрами Казахстана. Поскольку центральная станция находится в Астане, необходимо принимать во внимание тот факт, что электромагнитное излучение не должно

превышать норму, которая влияет на выбор оборудования спутниковой связи и антенной, которая, в свою очередь, повлияет на цену оборудования.

6.4 Маркетинг

ФНБ «Самрук-Казына» - самый крупный холдинг в Казахстане, и имеет на всей территории Казахстана дочерних компаний. В настоящее время системы спутниковой связи приобретают все большую популярность во всем мире, благодаря большой площади покрытия, покрытие для одного спутника может составлять до одной трети земного шара. Поскольку Казахстан является одним из крупнейших государств (с площадью 2,717,300 км2), системы спутниковой связи являются отличным выбором. Так же будет предоставлена возможность разных тарифных планов, для различных категорий потребителей.

6.5 Финансовый план

Данный финансовый проект будет осуществляться крупнейшим холдингом страны ФНБ «Самрук-Казына». Монтажом и обслуживанием будут заниматься местные специалисты одна из дочерних компаний АО «Казахтелеком». Поставка необходимого оборудования посвящена одному из зарубежных партнеров.

Таблица 6.2 - Стоимость оборудования для данного проекта [11]

Наименование оборудования	Цена оборудования, тг.	Количество оборудования	Сумма, тг.
Передатичик ЗС	15 650 500	1	15 660 500
Наземный терминал	3 600 000	15	54 000 000
Антенна ЗС	12 035 000	16	192 710 000
Блок питания	42 500	16	680000
Стоимость всего оборудования	263 050 500		

6.5.1 Расчет инвестиционных затрат

Капитальные вложения включают в себя:

$$Квл = Кобр + Ктр + Кдоп.\ об.\ , \qquad (6,1)$$

где $К_{обр}$-стоимость оборудования для организации спутниковой системы связи;

$К_М$- капитальные вложения на монтажные работы;

$К_{ТР}$-стоимость транспортного оборудования необходимого для установки системы связи (5 % от стоимости оборудования).

$К_{доп}$- стоимость дополнительного оборудования (кабели, изоляционные ленты и.т.д) и средства для монтажа. берется равной 3% от стоимости оборудования

$$Квл= 263\ 050\ 500 + 13\ 152\ 525+ 7\ 891\ 515= 284\ 094\ 540.$$

6.5.2 Текущие затраты на эксплуатацию системы

$$Эр= ФЗП +ОСС+А+Здоп.эл+Нр+Арс+Нрч. \qquad (6.2)$$

6.5.3 Фонд заработной платы определяется как

$$ФЗП= ФОТ+Здоп. \qquad (6.3)$$

Таблица 6.3 Данные о заработной плате компании ФНБ «Самрук-Казына».

Должность	Количество человек	Оклад тыс. тг/мес	Сумма тыс.тг/мес
Генеральный директор	1	320	320
Г лавный бухгалтер	1	200	200
Менеджер по продвижению услуг	2	180	360
Т ехник-электронщик	4	110	440
Оператор ЭВМ	3	80	240
Монтер	3	80	240
Итого, млн.тг.	1,8		

Фонд оплаты труда за год:

$$ФОТ= 1\ 800\ 00042=22\ 600\ 000 \text{ тг.}$$

Заработная плата с учетом премии:

$$Здоп= 0,2\cdot 22\ 600\ 000=4\ 320\ 000 \text{ тг.}$$

Подставим в формулу

$$ФЗП= 21\ 700\ 000+4\ 320\ 000=25\ 920\ 000 \text{ тг}$$

6.5.4 Отчисления на социальный налог:

$$ОСС= 0,11·0,9·ФЗП \quad (6.4)$$

$$ОСС=0,11·0,8·25\ 920\ 000=2\ 566\ 080 \text{ тг.}$$

6.5.5 Амортизационные отчисления (25%) от капитальных затрат:

$$А=На(\%)·Квл/100\% \quad (6.5)$$

$$А=25·284\ 094\ 540/100= 71\ 023\ 635 \text{ тг.}$$

6.5.6 Расходы на электроэнергию

$$З_{ЭЛ}=З_{эл.обр}+З_{доп.н.} \quad (6.6)$$

$$З_{эл.обр}=W·T·S, \quad (6.7)$$

где W= 15 кВт- потребляемая мощность;

T= 8670ч.- время работы;

S-тариф (1кВт/ч=12,28тг.)

$З_{эл.обр}$= 15·8670 · 12,28 = 1 597 014 тг/год Затраты на дополнительные нужды

$$З_{доп.нуж}=0,05 \cdot З_{эл.обр} \quad (6.8)$$

$$З_{доп.нуж}=0,05 \cdot 1\ 597\ 014 =79850 \text{ тг/год,}$$

Тогда по формуле 5.6

$$З_{доп.эл}=1\ 597\ 014+79850=1\ 676\ 864 \text{ тг/год.}$$

6.5.7 Арендная стоимость

Арендная стоимость одного ствола бортового ретранслятора за 3 года составляет 231000 у.е. или 31647000 тг., данная сумма выплачивается ежегодно организации KazSat-2;.

$А_{рс}$ = 31 647 000 тг/3год. [12]

6.5.8 Накладные расходы :

$$Нс_Р = 0,75 \cdot ФЗП, \quad (6.9)$$

$$Нс_р = 0,75 \cdot 25920000 = 19\ 440\ 000 \text{ тг.}$$

6.5.9 Налог на использование радиочастот в казну Республики Казахстан: спутниковые технологии (для частоты передатчика) 100 минимальных расчетных показателей [13].

Микроволновые ссылки (для двусторонней печати ствола на рейс), местные

40 минимальных расчетных показателей, а также есть 2 рейса, платить за РРЛ 80 месячных расчетных показателей.

WLL (для дуплексной ширины канала 2,1 МГц / 2,1 МГц для передачи) 90 минимальных расчетных показателей. Минимальный расчетный показатель для 2015 1982 тенге. [14]

Соответственно налоги за использование спектра радиочастот составят:

$$Н_{Рч} = 1982 \bullet (100 + 80 + 90) = 535\ 140 \text{ тг.}$$

6.5.10эксплуатационные расходы найдем по формуле (5.2)

$Э_Р$ = 25 920 000+ 2 566 080 + 71 023 635 + 1 676 864 + 19 440 000+31 647 000 +535 140 = 152 808 719тг.

Доходы компании

Доходы компании состоят из разовых и постоянных платежей клиентов, за установку и подключение оборудования 40250 тг. (1 линия) [15] и за постоянное использование цифровых каналов связи. Казахстан и страны СНГ 164 тг/мин.

Тарифы взяты, исходя из существующих тарифов других компаний.

Предполагаем, что в среднем каналы связи одним клиентом используются со следующей интенсивностью:

Казахстан и СНГ 100 мин. в год [15]

Доход от единовременных платежей рассчитываем по формуле:

$$Д_е — Т \bullet N, \quad (6.10)$$

$$Д_е = 40\ 250 \bullet 500 = 20\ 125\ 000.$$

где Т- плата за подключение, которая составляет 40 250 тг.

N-количество клиентов, количество абонентов за первый год 500

Доход за дальнейшего использования цифровых каналов

$$Д_а=(T_a \cdot n) \cdot N \qquad (6.11)$$

$$Д_а = (164 \cdot 100 \cdot 12) \cdot 500 = 98\ 400\ 000.$$

где n-число месяцев, 12

T_a- месячная абонентская плата за использование цифровых каналов связи, которая составляет 164 тг/мин, интенсивность использования одним клиентом берем, равной 100 мин.в год.

Общий доход от основной деятельности определяется как:

$$Д = Д_е + Д_а \qquad (6.12)$$

$$Д_1 = 20\ 125\ 00 + 98\ 400\ 000 = 118\ 525\ 000$$

Оценка эффективности от реализации проекта производится на основе четырех показателей, таких как:

1) чистый доход;
2) чистый приведенный доход;
3) срок окупаемости без дисконтирования;
4) срок окупаемости с учетом дисконтирования.

Прибыль от реализации услуг определяется по формуле:

$$ЧП = П - КПН\ , \qquad (6.13)$$

$$ЧП= -34283719-(-6856744)=-27426975,$$

где П - прибыль от реализации услуг, КПН- корпоративный подоходный налог с юридических лиц. Чистый доход предприятия после налогообложения равного 20%, рассчитывается по формуле:

$$КПН = 0,2 \bullet П \qquad (6.14)$$

Прибыль от реализации услуг рассчитывается по формуле

$$П = Д - ΣЭ, \qquad (6.15)$$

$$П_1=118\ 525\ 00- 152\ 808\ 719 = -34\ 283\ 719 \text{ тг},$$

где Д-реальный доход от внедрения услуг в год, ΣЭ- эксплуатационные расходы.

Таблица 6.4 Экономические показатели без учета дисконтирования компании ФНБ «Самрук-Казына»

Общее количество	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Количество абонентов	500	1500	2500	4500	6500
Доход от единовременных платежей Д**а**, тг	20 125 000	60 375 000	100 625 000	181 125 000	261 625 000
Доход от абонентской платы Д**а**,	98 400 000	295 200 000	492 000 000	885 600 000	1 279 200 000
Доходы от реализации услуг Д, тг	118 525 000	355 575 000	592 625 000	1 066 725 000	1 540 825 000
Эксплуатационные расходы З, тг	152 808 719	152 808 719	152 808 719	152 808 719	152 808 719
Прибыль, тг	-34 283 719	202 766 281	439816281	913916281	1388016281
Налогообложение, равное 20% КПН, тг	-6 856 744	40 553 256	87963256,2	182783256	277603256
Чистая прибыль, тг	-27 426 975	162 213 025	351 853 025	731 133 025	1 110 413 025
Амортизационные отчисления	71 023 635	71 023 635	71 023 635	71 023 635	71 023 635

Расчет экономической эффективности проекта

Для расчета срока окупаемости необходимо знать величину абсолютной экономической эффективности.

Абсолютная экономическая эффективность определяется как отношение чистого дохода (ЧП) к стоимости капитальных вложений:

$$Е=ЧП/К_{вл}, \qquad (6.16)$$

Е = (-27 426 975+162 213 025)/ 284 094 540= 0,474.

т.к. чистая прибыль за первый год получилась с отрицательным значением, мы берем значение за 1 и 2 год ЧД=-27 426 975+162 213 025=134 786 050 тенге

Расчетный срок окупаемости определяется как величина, обратная экономической эффективности:

$$T=1/E, \qquad (6.17)$$

$$T = 1/0,474= 2,1.$$

Таким образом, срок окупаемости проекта составляет 2 года и месяц и начинает приносить стабильно увеличивающуюся чистую прибыль, который в дальнейшем послужит для ее расширения по городам Республики Казахстан. Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле

$$\alpha = \frac{1}{(1+r)^t}, \qquad (6,18)$$

где $\boldsymbol{\alpha}$- коэффициент дисконтирования

r- норма дисконта (0,20)

t- номер шага

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

$$PV = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{Pt}{(1+r)^t} \qquad (6,19)$$

где r - ставка дисконты (20%)

t- год:

Согласно расчетам, полученным выше, известно, что чистый доход будет 134786050 тенге

Проводим расчеты дохода за год желаемого курса, с учетом ставки дисконтирования в размере 20%, используя данные в таблице

Для определения экономической эффективности проекта, как ожидается, чистая приведенная стоимость проекта

Таблица 5.5 - Чистый дисконтированный доход

Число лет, следующих за расчетным годом, (tp-t)	Дисконта:	Чистый дисконтированный доход, PVt, тенге
1	0,83	111 672 411,2
2	0,69	93 102 373,22
3	0,58	78 176 905,77
4	0,48	64 692 303,81
5	0,4	53 917 418,84
сумма дисконтированного дохода	401 762 427,8	

Для определения экономической эффективности проекта рассчитываем чистую текущую стоимость проекта.

Чистая текущая стоимость проекта определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{Pt}{(1+r)^t} - I \,, \qquad (6.20)$$

NPV=401 762 427,8-284 094 540=191 866 214тг.

где I - сумма первоначальных инвестиций;

r - норма дисконта;

n- срок проекта

Pt- денежный поток в году t.

NPV>0, проект прибыльный и его следует принять.

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

$$PI = \frac{\sum_{t} \frac{P_t}{(1+r)^t}}{IC} \qquad (6.21)$$

PI=401 662 427,8\284 094 540=1,414

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

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

$$DPP = t, \text{ при котором } Pt > 1, \qquad (6.22)$$

где Pt- чистый денежный поток доходов.

Все расчеты производились с использованием персонального компьютера в программе MSExcelи приведены в таблице 5.5. Ставка прибыли (норма дисконтыг) равна 20 % в год.

Таблица 6.6 - Оценка экономической эффективности

Показатели	Проектный период				
	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Чистый денежный поток, тг	134 786 050				
Капитальные вложения	284 094 540				
Норма дисконта	0,20				
Коэф. дисконтирования	0,83	0,69	0,58	0,48	0,4
Чистая текущая стоимость	111 872 421	93 002 374	78 175 908	64 697 303	53 914 419
№У,тг	191 866 214				
Индекс доходности(РТ)	1,414				

Таким образом, при капитальных вложения в 284 094 540, чистый годовой доход составит 134 786 050, при экономической эффективности 0,47 проект окупается через 2,1 год, что говорит об эффективности данной дипломной работы

После проведенных расчетов представим графически точку окупаемости инвестиционного проекта.

ЧД(Д) = 111 872 421 + 93 002 374 + 78 175 908 = 283 050 703 тг,

Р = 284 094 540 - 283 050 703 = 1 043 837 тг,

$$ДТ = 3 + \frac{1\,043\,837}{64\,697\,303} = 3{,}02 \text{ года}$$

Дисконтированный период окупаемости получился равным 3,02 года, что говорит об эффективности данного проекта.

7 Безопасность жизнедеятельности

7.1 Воздействие электромагнитных полей на организм человека

Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от: 1) напряженности электрического и магнитного полей, потока энергии;

2) частоты колебаний;

3) размера облучаемой поверхности тела;

4) индивидуальных особенностей организма;

5) комбинированным действиям совместно с другими факторами производственной среды.

Воздействие электромагнитного поля на человека можно свести: к тепловому действию к специфическому действию на ткани человека как биологические объекты.

Тепловое воздействие электромагнитного поля обусловлено поглощением энергии поля тканями тела человека.

В электрическом поле атомы и молекулы тканей организма поляризуются, а полярные молекулы (например, воды) ориентируются по направлению распространения электромагнитного поля. Таким образом в электролитах (жидких составляющих тканей, крови и т.п.) появляются ионные токи. Переменное электрическое поле вызывает нагрев тканей человека как за счет переменной поляризации диэлектрика (сухожилия, хрящи и т.д.), так и за счет появления токов проводимости. Тепловой эффект является следствием поглощения тканями энергии электромагнитного поля. Чем выше напряженность поля и время действия, тем сильнее эффект. До определенного предела избыточная теплота отводится за счет нагружения механизма терморегуляции. Но начиная с J = 10 мВт/см2, который назвается тепловым порогом, организм не справляется с отдачей теплоты и температура тела повышается. При этом наблюдается локальный нагрев тканей, отдельных органов и клеток.

Электромагнитные поля наиболее интенсивно действуют на органы с большим содержанием воды. Зачастую эти же органы обладают и слабой терморегуляцией (глаза, хрусталик глаза, мозг, почки, желчный пузырь,

желудок), так что для них электромагнитные поля наиболее опасны. Например, облучение глаз вызывает помутнение хрусталика (катаракту), которая обнаруживается через несколько дней или недель после облучения. Именно установленная величина теплового порога, была взята за основу американскими компетентными ведомостями, в свое время устанавливавших нормы для работы с СВЧ-излучением (обслуживание радаров и других систем). При меньших плотностях излучения - время работы было не ограничено.

В то же время в работах советских ученых (акад. Н.Д. Девятков) показано, что не все вредные эффекты сводятся к тепловому воздействию. Специфическое воздействие электромагнитных полей сказывается при интенсивности поля значительно меньше теплового порога. Электромагнитные поля изменяют ориентацию молекулы или цепей молекул в соответствии с направлением силовых линий поля, тем самым ослабляют биохимическую активность белковых молекул, приводят к изменению структуры клеток крови, ее состава, эндокринной системы, к трофическим заболеваниям (например, выпадение волос, ломкость ногтей и др.). Описано также при этом и специфическое кожное заболевание «эффект жемчужной нити» (появление на коже ряда последовательно расположенных пузырьков, наполненных жидкостью).

Воздействие электромагнитных полей может также приводить к функциональным изменениям в нервной и сердечно-сосудистой системах (повышенная утомляемость, нарушения сна, артериального давления, боли в области сердца, нервно-психические расстройства, а также к онкологическим заболеваниям, нарушению репродуктивной способности (влияние на сперматогенез).

На частотах 20 - 80 мГц наблюдается резонансное поглощение энергии ЭМИ, поэтому следует учитывать опасность, связанную с использованием нагревателей, работающих на частоте 2 - 200 мГц. При расстоянии от человека до источника необходим другой подход к опасности облучения, так как при этом возникают поверхностные токи на отдельных участках кожи человека. Это может привести к местному перегреву ткани, а также вызвать хронический тепловой эффект, который приводит к тератогенной опасности. Это в значительной степени относится, например, к химической промышленности, производящей изделия из пластмасс, где большинство рабочих - женщины.

Медицинские исследования показывают, что длительное воздействие ЭМИ на организм человека может привести к возникновению болезни. Так, например, у лиц, систематически в течение 1 - 10 лет подвергавшихся воздействию ЭМВ метрового диапазона (УВЧ) обнаружили не резко выраженные функциональные расстройства центральной нервной системы в

виде вегетативно-сосудистой дисфункции и неврастенического синдрома. Что касается полей промышленной частоты (50 Гц), то напряженность магнитного поля здесь не превышает 25А/м, а вредное биологическое действие (установленное современными методами исследования) появляется при напряженностях 150-200 А/м. Поэтому основным параметром, характеризующим биологическое действие электромагнитного поля промышленной частоты является электрическая напряженность. Электрическое поле влияет непосредственно на ЦНС и на мозг, боли в сердце, изменение кровяного давления. Кроме того, электрическое поле обусловливает возникновение разряда между человеком и металлическим предметом, имеющим другой потенциал. Ток разряда может вызвать судороги.

7.2 Расчет биологически - опасной зоны

Биологически - опасная зона (БОЗ) - зона образуется вблизи зоны излучения антенны и повторяет форму диаграммы направленности излучения как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Т а б л и ц а 7.1 – Сведения о радиооборудовании

Сведения о радиооборудовании	
Тип оборудовния	RBS 3418 Ericsson
Кол-во станций, шт	1
Кол-во антенн, шт	3
Мощность передатчика, Вт	13
Частота передачи	935-960МГц
Коэф. усиления антенны, дБ	14,7
Тип антенны	KATHREIN 739684
Диаметр антенны, м	-
Потери в фидере, раз	0,5
Высота подвеса антенны от уровня земли, м	46
Азимут максимального излучения, град	20, 120, 240
Допустимая плотность потока энергии, мкВт/см2	12

7.2.1 Расчет СЗЗ для диапазона частот 300 - 3000 МГц

Размеры биологически-опасной зоны определяются по предельно-допустимой плотности потока мощности по следующей формуле:

$$R = \sqrt{\frac{8 \cdot P \cdot G \cdot n}{W}} \cdot \Phi \cdot F(Q) \cdot F(Q) \qquad (7.1)$$

P - мощность передатчика на выходе радиопередающего устройства, Вт;

G - коэффициент усиления антенны, раз;

η- коэффициент потерь мощности в антенно-фидерном тракте, раз;

$\Phi_з$- множитель, учитывающий влияние Земли. Равен 1,1 для диапазона частот 800 - 900 МГц, длина волны λ = 35 см;

R - расчетная дальность границ биологически-опасной зоны, м;

W- предельно допустимое значение плотности потока мощности электромагнитного поля, из таблицы 1 СанПиН № 225 от 10.04.2007 г. равно 12 мкВт/см^2;

Кроме максимального радиуса БОЗ дополнительно рассчитываются значения Rz и Rx, равные:

$$Rz = R*SinQ \qquad (7.2)$$

$$Rx = R*CosQ \qquad (7.3)$$

Значение Rz (м) указывает на отклонение ВОЗ от оси излучения антенны, перпендикулярно к ней на расстоянии Rx от центра излучения вдоль оси. Результаты расчета сведены в таблицы 5.2 и 5.3. Таблица 5.2 – горизонтальная плоскость, таблица 5.3 -вертикальная плоскость.

Максимальный радиус БОЗ достигает величины 15,43 метра в направлении максимального излучения на высоте центра излучения антенны.

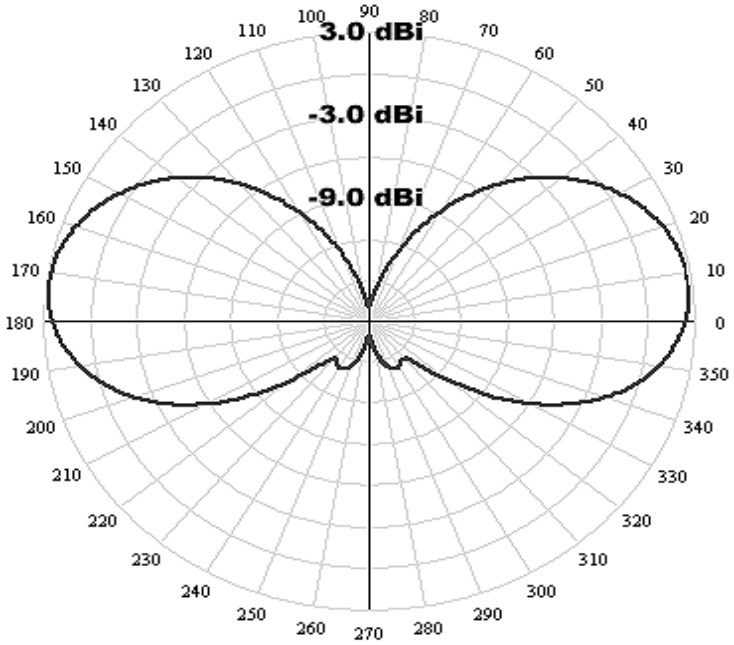

Рисунок 7.1 – Санитарно-защитная зона антенны

7.3 Методы защиты от электромагнитных полей

Выбор средств защиты от ЭМП во многом определяется характеристиками источников по частоте. Регламентом радиосвязи, принятым Международным консультативным комитетом (МККР), установлена номенклатура диапазонов частот (длин волн).

У источников ЭМП различают ближнюю (индукции) и дальнюю (излучения) зоны воздействия. Ближняя зона реализуется расстоянии $r \leq \lambda/6$, где ЭМП еще не сформировалось; как следствие этого, одна из составляющих поля намного меньше другой. У таких источников ЭМП при воздействии на окружающую среду слабо выражена магнитная составляющая напряженности. Поэтому в 5 – 8 диапазонах частот ЭМП оценивается электрической составляющей напряженности поля Е (В/м). В дальней зоне на расстояниях $r>\lambda/6$ ЭМП сформировалось, и здесь выражены обе его составляющие – электрическая и магнитная, поэтому в 9 – 11 диапазонах частот ЭМП оценивается поверхностной плотностью потока энергии (ППЭ), выраженной в ваттах на квадратный метр – Вт/м^2.

Основные меры защиты от воздействия электромагнитных излучений:

– уменьшение излучения непосредственно у источника (достигается за счет увеличения расстояния между источником направленного действия и рабочим местом);

– уменьшением мощности излучения генератора;

– рациональное размещение СВЧ и УВЧ установок (действующие установки мощностью более 10Вт следует размещать в помещениях с капитальными стенами и перекрытиями, покрытыми радиопоглощающими материалами - кирпичом, шлакобетоном, а также материалами, обладающими отражающей способностью - масляными красками и др.);

– дистанционный контроль и управление передатчиками в экранированном помещении (для визуального наблюдения за передатчиками оборудуются смотровые окна, защищенные металлической сеткой);

– экранирование источников излучения и рабочих мест (применение отражающих заземленных экранов в виде листа или сетки из металла, обладающего высокой электропроводностью - алюминия, меди, латуни, стали);

– организационные меры (проведение дозиметрического контроля интенсивности электромагнитных излучений - не реже одного раза в 6 месяцев;

– медосмотр - не реже одного раза в год;

– дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, допуск лиц не моложе 18 лет и не имеющих заболеваний центральной нервной системы, сердца, глаз);

– применение средств индивидуальной защиты (спецодежда, защитные очки и др.).

Каждая промышленная установка снабжается техническим паспортом, в котором указаны электрическая схема, защитные приспособления, место применения, диапазон волн, допустимая мощность и т. д. По каждой установке ведут эксплуатационный журнал, в котором фиксируют состояние установки, режим работы, исправления, замену деталей, изменения напряженности поля. Пребывание персонала в зоне воздействия электромагнитных полей ограничивается минимально необходимым для проведения операций временем.

Новые установки вводят в эксплуатацию после приемки их, при которой устанавливают выполнение требований и норм охраны труда, норм по ограничению полей и радиопомех, а также регистрации их в государственных контролирующих органах.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности ЭМП установлены «Санитарными нормами и правилами защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями

электропередачи переменного тока промышленной частоты» № 2971 – 34. В качестве ПДУ приняты следующие значения напряженности электрического поля, кВ/м: внутри жилых зданий – 0,5; на территории зоны жилой застройки – 1; в населенной местности, вне зоны жилой застройки (земли в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа и сельских населенных пунктов, в пределах черты этих пунктов); на участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами I – IV категории – 10; в ненаселенной местности (часто посещаемой людьми, доступной для транспорта, и сельскохозяйственные угодья) – 15; в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на специально выгороженных участках, где доступ населения исключен, - 20.

При напряженности электрического поля выше 1 кВ/м должны приняться меры по исключению воздействия на человека ощутимых электрических разрядов и токов отекания.

В зонах около радиотехнических объектов в основу нормирования положены «Временные санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых радиотехническими объектами» № 2963—84. Эти нормы регламентируют ЭМП телевизионных станций УВЧ диапазона.

7.3.1 Плотность потока электромагнитного поля

Электромагнитное поле используемою частотного диапазона оценивается поверхностной плотностью потока энергии (ППЭ) по формуле:

$$П[\frac{мкВт}{см}] = \frac{8 \cdot P[вт] \cdot G \cdot Ф \cdot n \cdot F(Q) \cdot F(\varphi)}{R[м]} \qquad (7.4)$$

G - коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя;

$Ф_з$- множитель, учитывающий влияние Земли;

$\eta_{афт}$ - коэффициент потерь в антенно-фидерном тракте;

$F^2(\varphi)$ - значение нормированной диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости;

$F^2(Q)$ - значение нормированной диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости;

R[м] - расстояние до точки облучения, м.

При наличии нескольких источников облучения уровень электромагнитного поля, создаваемого всеми источниками на границе санитарно-защитной зоны, должен соответствовать следующему требованию:

ППЭ1/ППЭпду1 + ППЭ2/ППЭпду2 +.....+ ППЭ n/ППЭпдуn = 1 (7.5)

В пределах санитарно-защитной зоны суммарная величина может быть выше единицы, а на территории, предназначенной для застройки должна быть меньше единицы. Предельно-допустимый уровень для всех используемых передающих устройств равен 12 мкВт/см^2.

Расчет ППЭ проведем для оборудования для двух точек:

1. На крыше 16 -ти этажного здания, расстояние до точки облучения 4 метра, высота от уровня земли 10 метров, угол облучения 74 градуса;
2. На расстоянии до точки облучения 11 метров, высота от уровня земли 2 метра, азимут 54 градуса.

Суммарный уровень электромагнитного поля, создаваемый всеми источниками облучения:

- в точке 1:

0, 010/12 = 0,0008 <1

- в точке 2:

(0,9 E-08)/12 + 0,012/12 = 0,001<1

Суммарное значение плотности потока электромагнитного поля не превышает нормы.

Т а б л и ц а 7.2 – Результаты расчета

Точка 1	1	0,017
Q=74^0	$F^2(\varphi)_1$	0,04
R=4м	ППЭ одного передатчика.мкВт/см^2	0,10

Точка 2	2	0,017
Q=54^0	$F^2(\varphi)_2$	0,10
R=11м	ППЭ одного передатчика.мкВт/см^2	0,012

Заключение

Ранее дальняя связь с морскими судами и самолетами осуществлялась в диапазоне коротких волн за счет многократного отражения радиосигналов от слоя F_2ионосферы и поверхности Земли. Однако связь в диапазоне коротких волн характеризуется низкой надежностью и неудовлетворительным качеством передачи телефонного сигнала из-за большого количества помех разного рода в этом диапазоне волн и неустойчивого характера распространения радиосигналов.

Создание спутниковых систем связи с мобильными терминалами позволило разработать надежные высококачественные каналы дальней связи с морскими и воздушными судами, а также с сухопутными мобильными терминалами. В настоящее время спутниковые каналы связи с мобильными терминалами обеспечивают передачу в цифровой форме телефонных сигналов, факсимиле, электронной почты.

В своем дипломном проекте рассмотрел особенности организации спутниковых систем персонального вызова. Для этого привел пример организации спутниковой системы связи с применением спутника INMARSAT. Данная спутниковая система используется в международной системе персонального вызова, а спутник имеет зону покрытия – весь Земной шар.В работе привёл расчет энергетического бюджета линий связи, составляющих систему связи персонального вызова.

Проведенные расчеты энергетики абонентской фидерной и наземной линии системы связи показывает соответствие рассчитанных параметров техническим характеристикам земных станции и спутника INMARSAT, а также характеристикам системы сотовой связи GSM.

Список литературы

1 Вишневский В.И., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Исторический очерк развития сетевых технологий // Широкополосные сети передачи информации. — Монография (издание осуществлено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований), 2013.

2 Спутниковая связь и вещание: Справочник. - 3-е изд., перераб. и доп. / В.А. Бартенев, Г.В. Болотов, В.Л. Быков и др.; под ред. Л.Я. Кантора. - М.: Радио и связь, 2007.

3 Системы спутниковой связи / А.М. Бонч-Бруевич, В.Л. Быков,

Л.Я. Кантор и др.; под ред. Л.Я. Кантора: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио исвязь, 2012. -224 с.

4 Айтыков Т. Вещание аналогового и цифрового эфирного телевидения //lyngsat.com:URL: http://www.lyngsat.com/KazSat-2.html(дата обращения: 20.04.2015) .

5 Спутниковая связь и вещание// Компьютерный учебник/Сост.: М.С. Байзаров/URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/VSAT(дата обращения: 13.03.2015) .

6 Элинов Д. SkyEdgeтехнологии //GilatSatelliteNetworks/ URL: http://www.gilat.com/SkyEdge(дата обращения: 28.04.2015).

7 Алекперов А. Геостационарная орбита заселена плотно// Мир связи. - 2009. - №2. - С. 84-93.

8 Спутниковая связь и вещание: Справочник. - 2-е изд., перераб. и доп. / Г.В. Аскинази, В.Л. Быков, М.Н. Дьячкова и др.; под ред. Л.Я. Кантора. - М.: Радио и связь, 2008. - 344 с.

9 Системы спутниковой связи / А.М. Бонч-Бруевич, В.Л. Быков, Л.Я. Кантор и др.; под ред. Л.Я. Кантора: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио исвязь, 2012. -224 с.

10 Меньшиков В.А., Чернов В.В., Феоктистов Н.Н., Александров И.Е. Космос и связь // Электросвязь. - 2009. - №6. - С. 10-12.

11 Бородич С.В. ЭМС наземных и космических радиослужб. Критерии, условия и расчет. - М.: Радио и связь, 2010. - 272 с.

12 Кантор Л.Я., Тимофеев В.В. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты. - М.: Радио и связь, 2008. - 168

13 С.П. Павлов, З.И. Губонина «Охрана труда в приборостроении», Москва, «Высшая школа», 2006.

14 Н.И. Баклашов, Н.Ж. Китаева, Б.Д. Терехов, «Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды», Москва, «Радио и связь», 2009.

15 Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах, Харьков, ХНУРЭ, 2008.

16 Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. М.: Химия,2010.

Приложение А
Окна определение, выполненные в программе MathCad 14

$\xi := 43.64 \cdot deg$ $\quad b := 12$ $\quad Da := 1.8$ $\quad T0 := 290$ $\quad a := 6$ $\quad \beta_1 := 51.03$ $\quad \eta := 0.9$

$c := 3 \cdot 10^6$ $\quad f := 14 \cdot 10^9$ $\quad k := 1.38 \cdot 10^{-23}$ $\quad \lambda := \frac{c}{f}$ $\quad Kш := 6$ $\quad Lдоп := 2$ $\quad Gкспр := 35$

$g := 8$ $\quad tслк := 100$ $\quad \beta кс := 86.5$ $\quad tшкс := 58$ $\quad Pспзс := -34$ $\quad Pспкс := -51$

$\lambda = 2.143 \times 10^{-4}$ $\quad Gкспер := 30$ $\quad tшзс := 43$ $\quad PсРш := 11$ $\quad \Delta f := 2 \cdot c \cdot \frac{\log(2)}{\log(1 + PсРш)}$

$a_1 := 10^{\frac{a}{10}}$ $\quad b_1 := 10^{\frac{b}{10}}$ $\quad L_1 := 10^{\frac{Lдоп}{10}}$ $\quad PсРш1 := 10^{\frac{PсРш}{10}}$ $\quad a1 := 10^{\frac{a}{10}}$

$PсРш1 = 12.589$ $\quad \Delta f = 1.674 \times 10^6$ $\quad Tпр := T0 \cdot (Kш - 1)$ $\quad Lдоп1 := 10^{\frac{Lдоп}{10}}$

$Gкс1 := 10^{\frac{Gкспр}{10}}$ $\quad Gкс1 = 3.162 \times 10^3$ $\quad Tпр = 1.45 \times 10^3$

1) $\beta := \beta_1 - \beta кс$ $\quad \beta = -35.47$

$\cos\psi := \cos(\xi) \cdot \cos(\beta \cdot deg)$ $\quad \cos\psi = 0.589$

$d := 42644 \cdot \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos\psi}$

Рисунок Б1 – Окно расчета связи персонального вызова

2)

$$T\Sigma := tшкс + T0\cdot\left(\frac{1-\eta}{\eta}\right)\cdot\frac{Tпр}{\eta} \qquad T\Sigma = 5.197\times10^{4}$$

3)

$$Gзс := \frac{10\cdot0.8\cdot Da^{2}}{\lambda^{2}} \qquad Gзс = 5.645\times10^{8}$$

$$Gзс1 := 10\cdot\log(Gзс) \qquad Gзс1 = 87.516$$

4)

$$Pзс := \frac{16\cdot\pi^{2}\cdot d^{2}\cdot10^{6}\cdot Lдоп1\cdot k\cdot T\Sigma\cdot\Delta f}{\lambda^{2}\cdot Gзс\cdot Gкс1\cdot\eta^{2}}\cdot b_{1}\cdot PcPш1$$

$$Pзс = 1.356\times10^{3} \qquad Pзс1 := 10\cdot\log(Pзс) \qquad Pзс1 = 31.323$$

5)

$$L0 := \frac{16\cdot\pi^{2}\cdot d^{2}\cdot10^{6}}{\lambda^{2}} \qquad L0 = 5.165\times10^{24} \qquad L01 := 10\cdot\log(L0)$$

6)

$$Pш := k\cdot T\Sigma\cdot\Delta f \qquad Pш = 1.2\times10^{-12}$$

$$Pш1 := 10\cdot\log(Pш) \qquad Pш1 = -119.207$$

$$Pc := Pзс1 - 0{,}458 + Gзс1 - L01 + Gкспр - 0{,}458$$

Рисунок Б2 – Окно расчета связи персонального вызова

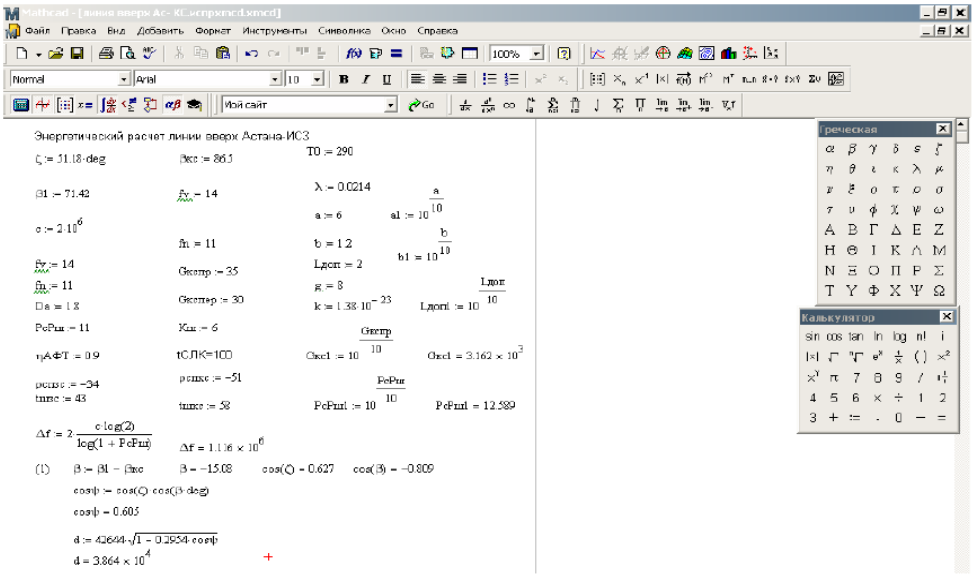

Рисунок Б3 – Окно расчета абонентской линии «судно-спутник»

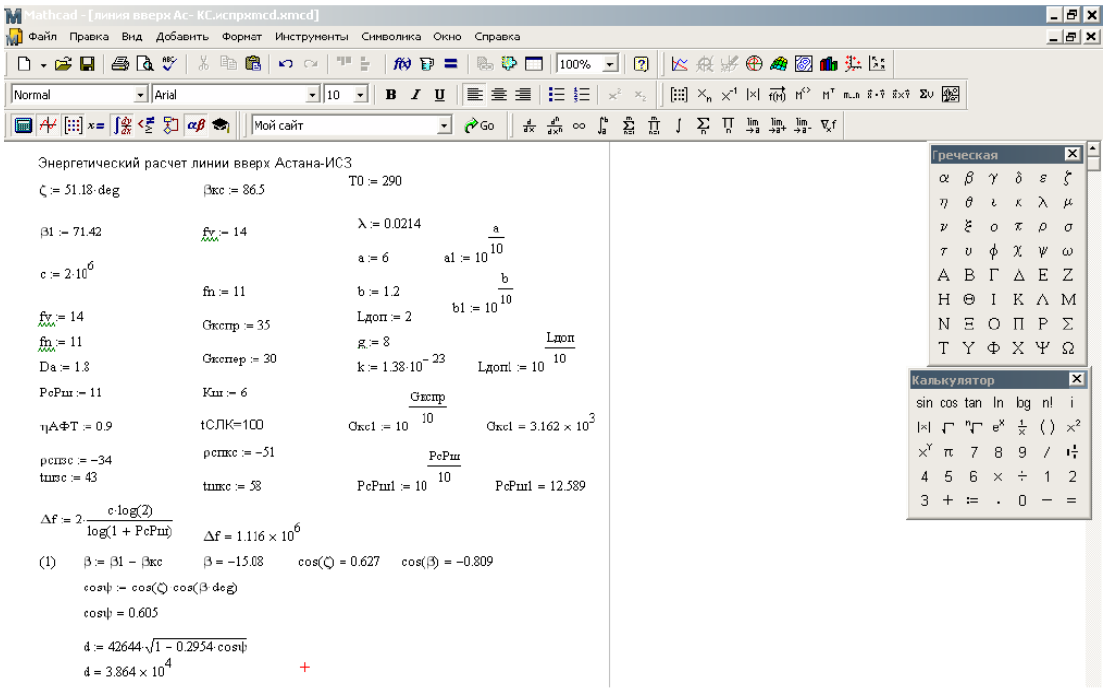

Рисунок Б4 – Окно расчета абонентской линии «судно-спутник»

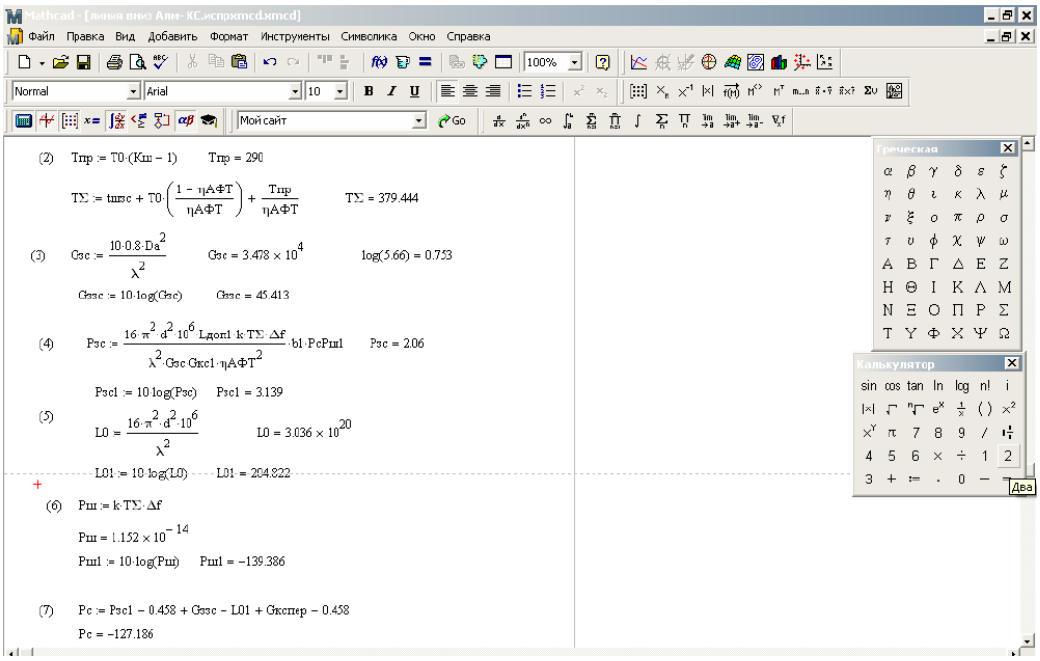

Рисунок Б5 – Окно расчета абонентской линии «судно-спутник»

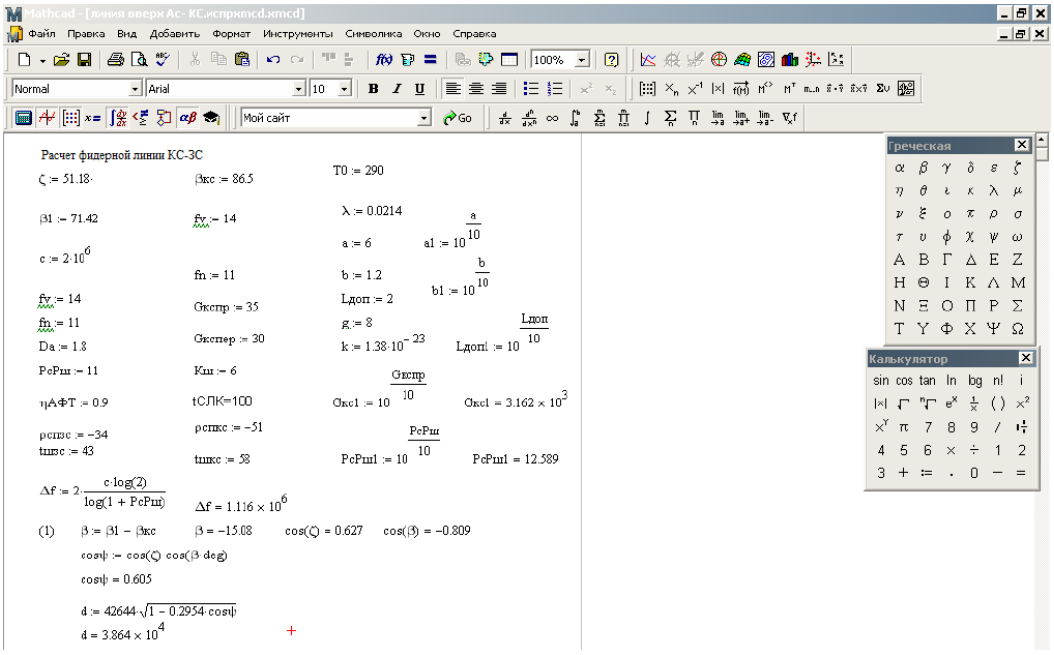

Рисунок Б6 – Расчет фидерной линии КС-ЗС