«Проектирование информационной телекоммуникационной системы парома на трассе Калининград – Санкт-Петербург»

Калининград 2010

**Введение**

Стремительное развитие телекоммуникаций вызвало в жизни Российского общества явление, названное мобильной и беспроводной революцией. Необходимость глубокого изучения и разработки инновационных технологий мобильного и беспроводного широкополосного доступа в сети связи требует объединения научных сил и потенциала ученых различных отраслей и технологической направленности. Стоящие задачи конвергенции различных видов сетей и услуг связи могут быть решены на основе взаимного обогащения двух важнейших научных направлений: развития современных телекоммуникаций сетей беспроводного широкополосного доступа и сетей мобильной связи.

Калининградская область занимает особое географическое местоположение, она находится в центре Европы и является связующим звеном между Россией и странами запада. Следовательно, должна соответствовать статусу европейских стран и иметь развитую телекоммуникационную инфраструктуру. Поэтому модернизация, развитие и внедрение современных систем связи является актуальнейшей задачей для нашего региона.

Таким образом, дипломный проект ставит основной задачей развитие систем связи на транспорте, а именно оснащение мобильной связью посредством спутниковой линии парома сообщением Калининград – Санкт-Петербург. В задачу проекта входит энергетический расчет системы, выбор необходимых параметров, таких как количество каналов, скорость передачи данных, размер и форма антенны, выбор цифровой системы.

Целью дипломного проекта является обоснование параметров многоканальной телекоммуникационной системы, предназначенной для обеспечения пассажиров парома мобильной связью, а также доступом к сети Internet.

Актуальность проекта заключается в том, что паром несколько дней плывет в нейтральных водах и находится вне зоны досягаемости базовых станций мобильной связи, вследствие чего пассажиры не могут обмениваться какой либо информацией с материком. Данный проект позволит открыть доступ не только к мобильной связи, но и к «всемирной паутине».

Первая глава освещает проблемы покрытия сотовой сети на пассажирском судне, представляет архитектуру мобильной связи на пароме и приводит количественный анализ необходимого трафика.

Во второй главе произведен обзор спутниковых систем, выбрана орбита, частотный диапазон, технология передачи данных.

Третья глава посвящена энергетическому расчету спутниковой линии восходящего и нисходящего участков. Рассчитана наклонная дальность на участках радиолинии, затухание сигнала, шумовая температура, коэффициент усиления антенн земной станции и ретранслятора на приём и передачу, мощности передатчиков земной станции и ретранслятора связи на ИСЗ.

В четвертой главе произведен расчет приемной антенны по схеме Кассегрена: геометрических параметров антенны, параметров облучателя и питающей линии.

В пятой главе описываются системы для организации покрытия сети на пароме. Обосновывается выбор предпочтительного оборудования. Показана система построения сети для парома, где пространство каюты экранировано. Разработаны предложения по сети связи в каютах.

**1. Анализ планового трафика сети**

Трасса парома сообщением Калининград-Санкт-Петербург протяженностью 700 км, пролегает в нейтральных водах Балтийского моря. На таком расстоянии радиус покрытия базовых станций мобильной связи, находящихся на берегу, конструктивно не достигает трассы прохождения судна и, следовательно, связь на пароме не может быть организована обычным способом. Корабль находится в плавании двое судок, при этом деловые люди, а также отдыхающие могут испытывать дискомфорт, связанный с потребностью в связи, управлением своими делами на материке, а также с невозможностью получения новостей. Задачей данного проекта ставится обеспечение судна сотовой связью, а также возможностью подключения к сети Internet, через спутниковую линию связи.

**1.1 Архитектура мобильной связи парома**

Сотовая связь на пароме организуется так. Сигнал из наземной сотовой сети «поднимается» на спутник связи, откуда принимается антенной, установленной на корпусе судна и передается на фемто или пикосоту, установленную внутри салона. Сотовые телефоны пассажиров салона связываются с этой внутренней сотой для приема сигнала, поступившего через спутник с земли и передачи сигнала на землю по той же «цепочке».

Рис. 1.1. Архитектура сотовой связи парома

**1.2 Расчет планового трафика сети.**

Опыт эксплуатации систем связи за последнее время показал возможности и параметры, необходимые для расчета трафика при использовании различных приложений.

Таблица 1. Общие характеристики трафика разных приложений

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приложение / Характеристика трафика | Терпимость к задержкам | Время ответа | Пропускная способность, *Мбит/с* |
| Электронная почта | Высокая | Регламентируется | 0,004…0,20 |
| Голос | Низкая | Реальное время | 0,004…0,064 |
| Передача файлов | Высокая | Регламентируется | 0,01…600 |
| Обработка транзакций | Низкая | Близко к реальному | 0,016…2,048 |
| Связь локальных сетей | Высокая | Реальное время | 10…100 |
| Доступ к серверу | Высокая | Реальное время | 10…100 |
| Высококачественное аудио | Низкая | Реальное время | 0,128…1 |

Исходя из данных таблицы 1, можем оценить трафик сети. С учетом передачи файлов, использования приложений, обработки транзакций и голосовой связи найдем необходимую пропускную способность.

### 1.3 Количественный анализ трафика

Необходимую общую пропускную способность вычислим как:



где i=1..n;

*P* – общая пропускная способность;

 – необходимая пропускная способность для i-ой услуги.

Необходимую пропускную способность в целом рассчитаем как произведение количества пользователей и нагрузка на каждого пользователя:



Общее количество пользователей примем равным 200, отсюда необходимая пропускная способность .

Возьмем с запасом *Р* = 20 *Мбит/с.*

Стандартный ствол имеет полосу пропускания 36 *МГц*, что соответствует максимальной пропускной способности около 40 *Мбит/с*, что удовлетворяет требованиям проекта.

Требования к проектируемой сети:

* необходимая полоса пропускания;
* расширяемость и способность к масштабированию сети;
* управляемость сети;
* интеграция разных видов трафика;
* соответствие требованиям по задержке пакетов в линии (не больше 250 *мс*);
* высочайшая надежность и готовность сети.

В первой главе произведена оценка необходимой пропускной способности сети, для реализации планового трафика. Для удовлетворения нужд абонентов в сотовой связи, а также доступу к сети интернет. Необходима скорость порядка 20 *Мбит/с,* что соответствует максимальной пропускной способности 40 *Мбит/с.*

**2. Анализ параметров спутниковой системы**

В зависимости от вида предоставляемых услуг спутниковые системы связи можно разделить на три основных класса:

1. Системы пакетной передачи данных (доставки циркулярных сообщений, автоматизированного сбора данных о состоянии различных объектов, в том числе транспортных средств и т.д.)
2. Системы речевой (радиотелефонной) связи.
3. Системы для определения местоположения (координат) потребителей.

Системы пакетной передачи данных предназначены для передачи в цифровом виде любых данных (телексных, факсимильных сообщений, компьютерных данных и др.) Скорость пакетной передачи данных в космических системах связи составляет от единиц до сотен килобайт в секунду. В этих системах, как правило, отказываются от непрерывности обслуживания и не предъявляют жестких требований к оперативности доставки сообщений. В таком режиме работает «электронная почта» (поступившая информация опоминается бортовым компьютером и доставляется корреспонденту в течение некоторого времени).

При радиотелефонной связи в спутниковых системах используют цифровую передачу сообщений, при этом обязательно должны выполняться общепринятые международные стандарты. В таких системах задержка сигнала на трассе распространения не должна превышать 0,25 *с* и переговоры абонентов не должны прерываться во время сеанса связи. Обслуживание абонентов должно быть непрерывным и проходить в реальном масштабе времени. В этом случае при построении радиотелефонной спутниковой сети необходимо учитывать, что:

* Спутники должны оснащаться высокоточной системой ориентации для удержания луча их антенны в заданном направлении
* Количество спутников в системе должно быть достаточным для обеспечения сплошного и непрерывного покрытия зоны обслуживания.

Для обеспечения достаточного количества каналов связи должны применяться многолучевые антенные системы, работающие на высоких частотах (более 1,5 ГГц).

Значительный прогресс в развитии спутниковых систем персональной связи достигнут благодаря внедрению новых технических решений, ключевыми из которых можно считать: обработку сигнала на борту спутника-ретранслятора, создание перспективных сетевых протоколов обмена информацией и применение недорогих портативных пользовательских терминалов с малым энергопотреблением.

Развитию систем персональной спутниковой связи способствуют большие успехи, достигнутые в микроминиатюризации функциональных узлов коммуникационного оборудования. Применение арсенида галлия и фосфида индия позволило создать мощные солнечные батареи небольших размеров, а внедрение различных композиционных материалов – уменьшить массу спутников. Значительный прогресс ожидается и в области разработки бортовых ЭВМ на специализированных БИС (больших интегральных схемах), обеспечивающих высокоскоростную коммутацию при ретрансляции информационных потоков. Применение методов многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (*CDMA*), который основан на использовании широкополосных сложных сигналов, несомненно, способствует успешному развитию спутниковых систем связи.

**2.1 Классификация орбит ИСЗ**

В космических системах, решающих задачи персональной связи, используются спутники, которые могут находиться на различных орбитах.

Орбиты космических аппаратов (КА) классифицируются: по форме, периодичности прохождения над точками земной поверхности и по наклонению.

По форме различают следующие типы орбит:

1. Круговые – трудно реализуемые на практике и требующие частой коррекции помощью бортовых корректирующих двигателей КА.
2. Близкие к круговым. Это наиболее распространенный тип орбит в системах спутниковой связи. На таких орбитах высоты апогея и перигея. различаются на несколько десятков километров.
3. Эллиптические. Высоты *Н* (апогея) и *Н* (перигея) могут значительно различаться (например, *Н*а = 38000*–*40000 *км*, *Н*п = 400*–*500 *км*), Данные орбиты также широко применяются в системах спутниковой связи.
4. Геостационарные. Это круговые экваториальные орбиты с периодом обращения спутника, равным периоду обращения Земли (*Р* = 23 *ч* 56 *мин*). На такой орбите спутник располагается на высоте 36000 *км* и находится постоянно над определенной точкой экватора Земли. Космические аппараты, находящиеся на геостационарной орбите, имеют большую площадь обзора Земли, что позволяет с успехом использовать их в системах спутниковой связи.
5. Параболические и гиперболические. Применяются, как правило, при изучении планет Солнечной системы.

По периодичности прохождения КА над точками земной поверхности различают следующие типы орбит:

1. Синхронные. Они, в свою очередь, подразделяются на синхронные изомаршрутные и синхронные квазимаршрутные. Изомаршрутные орбиты характеризуются тем, что проекции орбиты искусственных спутников Земли (ИСЗ) на земную поверхность (трассы) совпадают ежесуточно. Квазимаршрутные орбиты характеризуются тем, что проекции орбиты на земную поверхность совпадают один раз в несколько суток.
2. Несинхронные характеризуются тем, что трассы, соответствующие любым двум оборотам КА вокруг Земли, не совпадают.

Под наклонением орбиты понимается угол между плоскостями экватора Земли и орбиты КА. Наклонение отсчитывается от плоскости экватора до плоскости орбиты против часовой стрелки. Оно может изменяться от 0 до 180°.

По наклонению различают следующие типы орбит:

* Прямые (наклонение орбиты < 90°)
* Обратные (наклонение орбиты > 90°)
* Полярные (наклонение орбиты = 90°)
* Экваториальные (наклонение орбиты равно 0 или 180°)

Прецессия орбиты

Не сферичность Земли и неравномерность распределения ее массы приводят к изменению (прецессии) плоскости орбиты КА что влечет за собой прецессию линии апсид (т.е. линии соединяющей апогей и перигей) орбиты. При этом скорость названных прецессий зависит от формы орбиты, высоты апогея и перигея, а также от наклонения. Прецессия плоскости орбиты приводит к смещению восходящего и нисходящего углов относительно первоначального положения (в момент вывода КА на орбиту).

Величина прецессии плоскости орбиты космического аппарата зависит от напряженности гравитационного поля Земли. Увеличение напряженности приводит к «спрямлению» орбиты вблизи экватора за счет увеличения скорости движения ИСЗ в направлении экватора. При этом спутник движущийся по прямой орбите начинает отклоняться влево по ходу движения, а движущийся по обратной орбите – наоборот, вправо по ходу движения.

Таким образом, в первом случае плоскость орбиты прецессирует в западном направлении, а во втором – в восточном. Плоскости полярных орбит (имеющих наклонение = 90°) не прецессируют.

Высота орбит связных ИСЗ

В настоящее время в космических системах для решения задач персональной радиосвязи применяют спутники, которые могут находиться на следующих орбитах: низких (круговых или близких к круговым), средневысотных (круговых или эллиптических) и геостационарных.

Высота орбит КА выбирается на основании анализа многих факторов, включая энергетические характеристики радиолиний задержку при распространении радиоволн, близость к орбите радиационных поясов Ван Аллена, размеры и расположение обслуживаемых территорий. Кроме того на высоту орбиты влияют способ организации связи и требования по обеспечению необходимого значения угла места КА.

Анализируя низкоорбитальные группировки различных космических систем, можно заметить, что высоты круговых орбит КА большинства из этих группировок находятся в диапазоне от 700 до 1500 *км.* Это обусловлено следующими факторами:

* На орбитах, расположенных ниже 700 *км*, плотность атмосферы достаточно высока что вызывает уменьшение эксцентриситета и постепенное снижение высоты апогея. Дальнейшее уменьшение высоты орбиты приводит к повышенному расходу топлива увеличению частоты маневров для поддержания заданной орбиты.
* На высотах выше 1500 *км* располагается первый радиационный пояс Ван Аллена, в котором невозможна работа электронной бортовой аппаратуры.

Средневысотные орбиты (5000 *–* 15000 *км* над поверхностью Земли) находятся между первым и вторым радиационными поясами Ван Аллена. В системах, использующих КА, расположенные на таких орбитах, задержка распространения сигналов через спутник-ретранслятор составляет примерно 130 *мс*, что практически неуловимо для человеческого слуха и, следовательно, позволяет использовать такие спутники для радиотелефонной связи.

Системы, использующие спутники с высотой орбиты 700 – 1500 *км*, имеют лучшие энергетические характеристики радиолиний, чем системы с высотой орбит спутников, равной примерно 10000 *км*, но уступают им в продолжительности активного существования КА. Дело в том, что при периоде обращения КА около 100 *мин* (для низких орбит) в среднем 30 *мин* из них приходится на теневую сторону Земли. Поэтому бортовые аккумуляторные батареи испытывают от солнечных батарей приблизительно 5000 циклов заряда / разряда в год. Для круговых орбит с высотой 10000 *км* период обращения составляет около 6 *ч*, из которых лишь несколько минут КА проводит в тени Земли.

Следует также отметить, что спутник, находящийся на низкой орбите, попадает в зону прямой видимости абонента лишь на 8–12 *мин*. Значит, для обеспечения непрерывной связи любого абонента потребуется много КА, которые последовательно (при помощи шлюзовых станций или межспутниковой связи) должны обеспечивать непрерывную связь. С увеличением высоты орбиты КА зона прямой видимости спутника-ретранслятора и абонента увеличивается, что приводит к уменьшению количества спутников, необходимого для обеспечения непрерывной связи. Таким образом, с увеличением высоты орбиты увеличиваются время и размеры зоны обслуживания и, следовательно, требуется меньшее число спутников для охвата одной и той же территории.

Геостационарные космические системы с высотой орбит спутников примерно 36000 км обладают двумя важными преимуществами:

* Система, состоящая из трех геостационарных спутников, практически обеспечивает глобальный обзор земной поверхности.
* Спутники всегда находятся над определенной точкой Земли, что позволяет сэкономить на оборудовании слежения за КА.

Для нашей системы связи актуальнее использовать спутник на геостационарной орбите, что позволит охватить нужную площадь земной поверхности и избавиться от использования сложной аппаратуры слежения за ИСЗ.

**2.2 Выбор частотного диапазона**

Любая сеть спутниковой связи включает в себя один или несколько спутников-ретрансляторов, через которые и осуществляется взаимодействие земных станций (ЗС). В настоящее время наиболее широкое распространение получили спутники, работающие в диапазонах частот *C* (4/6 *ГГц*) и *Ku* (11/14 *ГГц*).

Рис. 1.2

Как правило, спутники диапазона *С* обслуживают довольно большую территорию, а спутники диапазона *Ku* – территорию меньше, но обладают более высокой энергетикой, что дает возможность для работы с ними применять ЗС с антеннами малого диаметра и маломощными передатчиками.

Для нашей системы выберем частотный диапазон *Ku,* с частотой передачи радиосигнала  (на линии вверх),  (на линии вниз).

**2.3 Выбор технологии передачи данных**

В состав любой ЗС входит радиочастотное и каналообразующее оборудование. Первое – это антенна и приемопередатчик, которые должны соответствовать типу выбранного спутника и обеспечивать работу каналообразующего оборудования. Как правило, эти два компонента ЗС поставляются в комплекте.

Каналообразующее оборудование определяет принцип работы ЗС и всей сети. В настоящее время существуют четыре основные технологии для сетей спутниковой связи. Все они имеют свои достоинства и недостатки, и ни одна из них не является универсальной. Для повышения эффективности работы во многих современных сетях успешно сочетаются несколько технологий одновременно. Основное различие между ними – способ использования ресурса спутникового ретранслятора. Рассмотрим эти технологии:

* *SCPC* *(Single Channel Per Carrier)* активно применяют для построения небольших сетей с интенсивным трафиком. Каждая ЗС, реализующая SCPC, имеет выделенный постоянный сегмент емкости спутникового ретранслятора и поддерживает постоянное соединение. Основное достоинство данной технологии состоит в том, что она гарантирует необходимую пропускную способность канала спутниковой связи, а основной недостаток – отсутствие в ней возможности динамического перераспределения ресурса ретранслятора между узлами сети.
* *DAMA (Demand Assigned Multiple Access)* предоставляет ресурс спутникового ретранслятора по требованию. В сетях с технологией *DAMA* канал связи выделяется пользователю только на время проведения сеанса связи, что значительно экономит ресурсы спутникового ретранслятора. Структура канала в этой сети аналогична структуре канала *SCPC*. В некоторых реализациях технологии *DAMA* предусмотрена возможность установления соединений с разной пропускной способностью для разных сеансов связи. *DAMA* оптимальна для создания телефонных сетей с полносвязной топологией. Ресурс ретранслятора распределяется центральной станцией сети, что можно считать основным недостатком технологии, так как функционирование всей сети зависит от состояния одной этой станции.
* *TDMA (Time Division Multiple Access)* предоставляет множеству станций динамический доступ к общему каналу с временным разделением. В отличие от технологии *DAMA* с ее достаточно большим временем установления соединения такой доступ предоставляется значительно быстрее. Однако ЗС сети *TDMA* стоят довольно дорого, поскольку любая из этих станций – даже с самым минимальным трафиком – должна передавать данные со скоростью, равной общей пропускной способности разделяемого по времени канала. В сетях *TDMA* центральная управляющая станция, как правило, отсутствует.
* *TDM/TDMA (Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access)* – комбинированная технология сетей с топологией типа «звезда». В сети *TDM/TDMA* центральная ЗС связывается со станциями пользователей при помощи одного или нескольких закрепленных каналов *TDM* (с временным мультиплексированием), а станции пользователей осуществляют доступ к центральной ЗС через каналы *TDMA*. Поскольку все станции пользователей напрямую взаимодействуют только с центральной ЗС, появляется возможность применять довольно маломощные станции, скомпенсировав недостаток их энергетики использованием антенны большого диаметра и мощного передатчика на центральной ЗС. За счет такого дисбаланса параметров станций удается существенно снизить стоимость проектов с большим числом станций пользователей. Обязательное наличие центральной ЗС (которая выполняет функцию концентратора сети) обусловливает высокие требования к ее готовности – ведь от состояния этой станции зависит функционирование всей сети.

В сети *TDM/TDMA* данные, передаваемые между двумя любыми станциями пользователей, дважды проходят через спутник-ретранслятор («двойной скачок»). При этом возникает существенная (1–2 *с*) задержка сигнала, которая делает данную сеть малопригодной для использования телекоммуникационных приложений, чувствительных к таким задержкам.

Поддержка рассмотренных выше основных технологий реализована во многих современных аппаратных средствах спутниковой связи. Очень часто имеет смысл применять в одной сети несколько технологий одновременно. Так, например, для построения крупномасштабной корпоративной телекоммуникационной инфраструктуры можно рекомендовать сочетание технологий *TDM/TDMA и DAMA*. Последняя из них обеспечит телефонную и факсимильную связь, сделает возможной организацию аудио- и видеоконференций, в то время как с помощью подсети *TDM/TDMA* можно будет осуществлять передачу данных.

Вторая глава посвящена выбору параметров спутника: формы и высоты орбиты, частотного диапазона, в котором будет транслироваться сигнал и технологии передачи данных.

Для нашего проекта предпочтение отдано ИСЗ на геостационарной орбите, что позволит охватить нужную площадь земной поверхности и избавиться от использования сложной аппаратуры слежения за траекторией спутника.

Передача сигнала будет осуществляться в *Ku-*диапазоне (11/14 *ГГц*), что дает возможность для работы с антеннами малого диаметра и маломощными передатчиками.

Для передачи информации можно рекомендовать сочетание технологий *TDM/TDMA и DAMA*. Последняя из них обеспечит телефонную и факсимильную связь, сделает возможной организацию аудио- и видеоконференций, в то время как с помощью подсети *TDM/TDMA* можно будет осуществлять передачу данных.

**3. Энергетический расчет спутниковой линии**

Основная особенность спутниковых линий связи – большое затухание радиосигнала на участках линии. Так при высоте орбиты ИСЗ в 36000 км затухание радиосигнала на участке достигает 200 дБ. Кроме этого, радиосигнал претерпевает случайные изменения вследствие поглощения радиоволн в атмосфере (дождь, снег, туман), их рефракции и деполяризации, Фарадеевского вращения плоскости поляризации. На приёмные устройства воздействуют помехи в виде излучений космоса, Солнца, Земли и др. планет.

Правильный и точный учет всех особенностей спутниковой связи позволяет выполнить оптимальное проектирование системы связи, обеспечить её надежную работу в наиболее сложных условиях и в то же время исключить излишние энергетические затраты, приводящие к неоправданному усложнению наземной и бортовой аппаратуры.

В энергетическом смысле для линии «ЗС-СР-ЗС» (земная станция – спутник-ретранслятор – земная станция) оба участка напряженные и неравнозначные: первый – из-за стремления уменьшить мощность передатчика земной станции и относительно низкой чувствительности приемника ретранслятора, второй – из-за ограничений на массу, габариты и энергетику ретранслятора, т.е. ограничения на мощность бортового передатчика.

Для участка ЗС-СР мощность сигнала на входе бортового приёмника можно определить из первого уравнения передачи

, *[дБ]*. (3.1)

Аналогично для участка СР-ЗС

, *[дБ],* (3.2)

где  – потери в антенно-волноводном тракте передачи (приёма) земной станции или бортового ретранслятора;

 – коэффициент передачи по мощности антенно-волноводного тракта передачи или приёма;

 – дополнительное затухание радиосигнала на участке ЗС-СР (СР-ЗС).

Потери в антенно-волноводном тракте зависят от его конструкции и диапазона рабочих частот. Обычно при расчетах принимают , , .

# 3.1 Расчёт затухания радиосигнала на участках линии спутниковой связи

Полное затухание радиосигналов в линиях спутниковой связи определяется потерями в свободном пространстве  и дополнительными потерями , обусловленными особенностями функционирования систем спутниковой связи:

, *[дБ].* (3.3)

Потери энергии радиоволн при распространении в свободном пространстве определяются в соответствии с выражением

, *[дБ]*, (3.4)

где  – наклонная дальность на участках радиолинии КС, определяемая как

, (3.5)

где =6371 *км* – радиус Земли (при её аппроксимации сферой);

*H –* высота орбиты ИСЗ (для геостационарной орбиты *Н =* 35875 *км*, для высокоэллиптических орбит *Н* *–* высота апогея);

 – топоцентрический параметр, который может быть определен из выражения

 (3.6)

где,  – географическая широта подспутниковой «точки»;

 – географическая широта земной станции;

; (3.7)

 – географическая долгота ЗС;

 – географическая долгота подспутниковой «точки».

При расчете энергетических параметров сети спутниковой связи  следует выбрать максимальным для заданной зоны обслуживания. Для выполнения этого условия из исходных данных выберем географические координаты ЗС и СР таким образом, чтобы ЗС находилась на максимальном расстоянии от подспутниковой «точки» для заданной зоны обслуживания.

Имеем: , , , 

Отсюда, 



Дополнительное затухание радиосигнала на участках радиолинии КС  зависит от многих факторов, проявляющихся независимо друг от друга, и может быть представлено в виде суммы:

, (3.8)

где  – затухание в атмосфере без осадков;

 – затухание в осадках;

 – затухание, учитывающее неточность наведения антенн;

 – затухание за счет деполяризации сигнала в среде распространения.

Затухание в атмосфере без осадков  определяется главным образом поглощением в тропосфере и имеет ярко выраженный частотно-зависимый характер с резонансными пиками на частотах 22 и 165 ГГц (для водяных паров) и 60 и 120 ГГц (для кислорода).

Потери энергии радиосигнала в атмосфере без осадков не зависят от времени (имеют место в течение 100% времени работы радиолинии) и определяются по графикам (рис. 3.1) в зависимости от частоты радиосигнала  Найдём на линии вверх  () и вниз  ().

Таким образом,  и . Затухание сигнала в осадках зависит от вида гидрометеоров (дождь, снег, туман), размеров зоны их выпадения, интенсивности осадков в зоне и т.д. В диапазонах частот  величина затухания радиосигнала в осадках составляет . Поэтому примем .

Рис. 3.1. Графики для определения затухания радиосигнала в атмосфере без осадков

Дополнительное затухание сигнала за счет неточного наведения антенн ЗС и СР друг от друга  обусловлено рефракцией радиоволн, что приводит к образованию угла между истинным и кажущимся направлениями ИСЗ. Угловое отклонение, вызванное рефракцией, составляет несколько десятых долей градуса и может быть скомпенсировано при автоматическом наведении антенн по максимуму сигнала. При других методах наведения с учетом погрешностей конструкции устройства наведения можно принять .

Поляризационные потери на участках линии КС складываются из потерь, вызванных несогласованностью поляризации, потерь, связанных с эффектом Фарадея, и потерь из-за деполяризации радиоволн в осадках.

Потери, вызванные несогласованностью поляризации, имеют существенное значение при использовании на ЗС и СР узконаправленных антенн и применении линейной поляризации. Использование круговой поляризации позволяет эти потери сделать пренебрежимо малыми. Потери, обусловленные эффектом Фарадея, проявляются при использовании сигналов с линейной поляризацией, зависят от частоты и пренебрежимо малы. Потери из-за деполяризации радиоволн при осадках больше характерны для сигналов с круговой поляризацией, носят статистический характер, связанный со статистикой выпадения дождей, и могут оказывать заметное влияние на энергетику систем спутниковой связи на частотах выше 12 *ГГц*.

При использовании на линиях КС круговой поляризации сигналов результирующие поляризационные потери принимают .

Таким образом, получаем ослабление радиосигнала на участке вниз



и на участке вверх

.

Хорошо видно, что ослабление на участке вниз меньше, чем на участке вверх на *2 дБ*. Такое отличие связано с тем, что радиосигнал на более высоких частотах претерпевает большее затухание, чем на частотах ниже. Именно этим обусловлен тот факт, что для значения частоты радиосигнала на участке СР-ЗС всегда выбирается меньшее значение, чем на участке ЗС-СР. Ведь на борту ИСЗ энергетика жёстко ограничена, что сильно оказывает влияние на максимальную выходную мощность передатчика ретранслятора связи.

# 3.2 Расчёт энергетических параметров приёмных устройств

Приемное устройство СВЧ может характеризоваться некоторыми энергетическими параметрами: реальной чувствительностью, пороговой чувствительностью, коэффициентом шума, шумовой температурой и эффективной температурой. Все эти параметры, как известно, имеют определенную связь между собой. Три последних из них характеризуют линейную часть приемного устройства от антенны до детектора. В системах спутниковой (космической) связи наибольшее распространение получили два последних параметра.

## 3.3 Расчёт полной эффективной температуры приёмных устройств, пересчитанной к облучателю приёмной антенны

*Шумовая температура * оценивает внутренние шумы линейной части приемника, пересчитанные на его вход. Она может быть выражена через коэффициент шума  следующим образом

**, (3.9)

где  – абсолютная температура среды, в которой работает приемник (обычно ).

Чем ниже шумовая температура приемника, тем выше его чувствительность. Для идеального четырёхполюсника , поэтому **.

Для приёмника ЗС коэффициент шума составляет  или , т.е. .

Т.к. основной вклад в шум приёмного устройства вносит первый каскад, т.е. МШУ, то коэффициент шума МШУ будет ненамного меньше коэффициента шума всего приёмного устройства. А таким МШУ может служить параметрический усилитель на полупроводниковых диодах ().

Для приёмника СР коэффициент шума составляет  или , т.е. .

Такие значения позволяют первый каскад усилителя такого приёмника реализовать на ЛБВ (Лампа бегущей волны).

*Эффективная температура* () характеризует полную мощность шумов, действующих на входе приемника, т.е. поступающих из антенно-волноводного тракта и собственных, пересчитанных на вход. Полная эффективная температура приемного устройства, пересчитанная на вход приемника

, (3.10)

то же – к облучателю приёмной антенны:

, (3.11)

где  – эквивалентная шумовая температура антенны;

 – эквивалентная шумовая температура антенно-волноводного тракта.

Эквивалентная шумовая температура антенны может быть представлена в виде составляющих [10, 13]:



, (3.12)

где  – составляющая, обусловленная приемом космического радиоизлучения, зависящая от угла места антенны;

 – составляющая, обусловленная излучением атмосферы и зависящая от угла места антенны;

 – составляющая, учитывающая излучение Земли;

 – составляющая, учитывающая собственные шумы антенны из-за наличия потерь в её элементах;

– коэффициент, учитывающий усредненный уровень боковых и задних лепестков диаграммы направленности антенны (для антенн ЗС , для антенн СР ).

Эквивалентная шумовая температура волноводного тракта, работающего при абсолютной температуре .

. (3.13)

Шумы космического происхождения определяются в основном излучениями Галактики, Солнца и Луны. При этом усреднённая температура шумов Галактики на частотах до 11 *ГГц* не превышает 10°*К*. Шумовое излучение Солнца может полностью нарушить связь при попадании в главный лепесток диаграммы направленности антенны. Однако влияние Солнца можно, свести к минимуму при конкретном расчете трассы участка. Излучение Луны оказывает ещё меньшее влияние, т. к. её шумовая температура на несколько порядков ниже шумовой температуры Солнца. Таким образом, в большинстве практических случаев составляющая  может приниматься равной нулю.

Шумовая температура атмосферы определяется излучением спокойной атмосферы и влиянием осадков, зависит от частот сигнала и угла места антенны. При известном затухании радиосигнала в атмосфере (с учётом осадков)  шумовая температура атмосферы быть определена как:

, *[]*. (3.14)

Шумовая температура Земли при расчетах принимается равной 

Составляющая  как показывает практика, зависит от угла места антенны. Приведено выражение для расчета этой составляющей с учётом .

, *[]*. (3.15)

Собственная шумовая температура антенны обусловлена потерями анергии в облучателе. Она может быть определена по аналогии с (3.13)

Поскольку коэффициент полезного действия облучателя близок к 1, то собственной шумовой температурой антенны можно пренебречь.

Подставив все составляющие в (3.3), имеем

 и .

### 3.4 Расчёт коэффициента усиления антенн земной станции и ретранслятора на приём и на передачу

Усиление антенны  земной станции на передачу или на приём можно определить по диаметру зеркала (рефлектора) и длине рабочей волны на участке ЗС-СР () или на участке СР-ЗС ():

, *[дБ],* (3.16)

где  – коэффициент использования поверхности зеркала (КИП) (для двухзеркальных ).

Примем КИП  Из исходных данных , следовательно  и .

Для бортовой антенны обычно задается угол главного лепестка диаграммы направленности . В этом случае усиление антенны можно определить как

, *[дБ].* (3.17)

Для обеспечения связи в пределах заданной зоны на ретрансляторе будем использовать антенну с ШДН . Ретранслятор с такой антенной будет освещать зону диаметром , что достаточно для освещения трассы парома. Её коэффициент усиления составит .

## 3.5 Расчёт реальной чувствительности приёмников

Реальная чувствительность радиоприемника  характеризуется минимальной мощностью сигнала на его входе, при которой обеспечивается заданное качество связи на интервале и в линии в целом. Поэтому расчёт реальной чувствительности приемников проводится с учётом нормирования качества связи на интервалах (участках), механизма накопления искажений в линии в условиях замираний, режимов работы станций в линии и т.д.

Реальная чувствительность приемников КС в режиме передачи цифровых сообщений методом непосредственной манипуляции несущего колебания определяется скоростью передачи сообщений, методом манипуляции несущей (*АМн, ЧМн, ФМн, ОФМн*), способом обработки сигнала в приемнике (когерентный, некогерентный), требованием к достоверности и т.д. Для когерентного и некогерентного приема

, *[дБ]*, (3.18)

- шумовая полоса пропускания приемника,

 – соотношение сигнал/шум на входе решающей схемы приемника для обеспечения заданной вероятности ошибок .

В реальных условиях обычно принимается в расчёт поправка на потери при технической реализации когерентного приёма . С учётом этой поправки

, *[дБ]*. (3.19)

Имеем  и (*Вт*).

Такое различие значений реальной чувствительности приёмников на Земле и на борту ИСЗ обусловлено тем, что на земных станциях большое распространение получили параметрические МШУ с коэффициентом шума 6…7 дБ, в то время как на ретрансляторе применяются транзисторные МШУ коэффициент шума которых ~10 дБ.

# 3.6 Расчёт энергетических параметров передающих устройств

Расчет и обоснование энергетических параметров станций: мощности передатчика, затухания в АФТ, коэффициента усиления антенны, реальной (пороговой) чувствительности приемника или его шумовых параметров, требуемого запаса уровня СВЧ-радиосигнала на интервале является основной целью энергетического проектирования линии связи. Расчет производится на основе решения первого и второго уравнений передачи. При этом отдельные составляющие этих уравнений должны быть предварительно рассчитаны или обоснованно выбраны.

Решение уравнений передачи не может быть однозначным вследствие некоторого разброса значений параметров, входящих в уравнения. Поэтому величина рассчитываемого параметра может оказаться неприемлемой. В этом случае следует внести коррективы в значения тех или иных параметров и решать уравнение заново.

## 3.7 Расчёт выходных мощностей передатчиков земной станции и ретранслятора связи на ИСЗ

Мощности передатчиков ЗС и СР определяются в соответствии с первым уравнением передачи:

 (3.20)

, *[дБ]*,

где  – мощности сигналов на входах приемников ЗС (СР)

 – эквивалентное затухание на участке вверх (вниз), которые находятся из выражения:

, *[дБ]*,

где  – затухание волноводных (фидерных) трактов соответствующих передающих и приемных устройств участков;

 – эксплуатационный запас мощности передатчика.





Мощности передатчиков земной станции и спутника-ретранслятра:





Третья глава посвящена энергетическому расчету спутниковой линий: наклонной дальности, затухания сигнала, шумовой температуры, коэффициента усиления антенн земной станции и ретранслятора на приём и передачу, мощности передатчиков земной станции и ретранслятора связи на ИСЗ.

Опираясь на эти показатели можно выбрать приемно-передающую аппаратуру, и рассчитать параметры антенны.

**4. Расчет приемо-передающей антенны спутниковой связи**

**4.1 Общий анализ и сравнительная характеристика антенн**

В последнее десятилетие в области космической и радиорелейной связи, радиоастрономии и других областях широкое распространение получили двухзеркальные антенны (ДЗА).

Основными достоинствами анесимметричных ДЗА по сравнению с однозеркальными являются:

1. Улучшение электрических характеристик, в частности повышение коэффициента использования поверхности раскрыва антенны, так как наличие второго зеркала облегчает оптимизацию распределения амплитуд по поверхности основного зеркала.
2. Конструктивные удобства, в частности упрощение подводки системы фидерного питания к излучателю.
3. Уменьшение длины волноводных трактов между приемо-передающим устройством и облучателем, например, путем размещения приемного устройства, вблизи вершины основного зеркала.

Вместе с тем ДЗА свойственны следующие недостатки:

1. высокая степень затенения излучающего раскрыва, особенно для антенн с малым электрическим размером раскрыва, то есть характеризуемым сравнительно малым значением *D/λ*;
2. высокий уровень боковых лепестков по угловым направлениям, примыкающим к направлению главного излучения;
3. значительно более серьезные трудности в конструировании квазичастотно независимых облучателей антенны по сравнению с однозеркальной схемой;
4. большие физические размеры облучателя;
5. высокая стоимость.

Принцип действия ДЗА заключается в преобразовании сферического волнового фронта электромагнитной волны, излучаемой источником, в плоский волновой фронт в раскрыве антенны в результате последовательного переотражения от двух зеркал: вспомогательного и основного с соответствующими профилями.

Одним из наиболее распространенных вариантов исполнения двузеркальной антенны является антенна типа Кассегрена, содержащая параболоидное основное зеркало, облучатель и вспомогательное зеркало (контррефлектор), представляющее собой часть поверхности в виде гиперболоида вращения.

Трансформация волновых фронтов в указанной схеме такова: сферический фронт волны, излученный облучателем, после отражения от конррефлектра трансформируется вновь в сферический расходящийся фронт, виртуальный источник которого расположен на оси системы за гиперболоидным контррефлектором в точке фокуса основного рефлектора, а после второго отражения от параболоида трансформируется в плоский волновой фронт.

Рисунок 4.1 – антенна типа Кассегрена

###### 4.2 Расчет энергетических характеристик антенны

К основным энергетическим характеристикам антенны относят коэффициент усиления и коэффициент направленного действия.

Коэффициент усиления передатчика:



Для того, чтобы выразить *Gпер* в разах необходимо использовать известное соотношение:

 (4.1)



Коэффициент направленного действия (*КНД*) определяется как отношение коэффициента усиления к *КПД* (для двузеркальных антенн *КПД* примем равным 0,8). При этих значениях, *КНД* определиться как:

; (4.2)

*КНД=*18448,854

**4.3 Расчет радиуса раскрыва большого зеркала**

В предварительных расчетах радиус раскрыва вычисляется без учета площади затенения. Для определения предварительного радиуса раскрыва (*R*/0) используем следующее соотношение:

 (4.3)

где КИП примем равным 0,6;

 (4.4)

Выразим из данного соотношения площадь раскрыва и затем определим R/0:

 (4.5)



Площадь окружности определяется по формуле:

 (4.6)

В результате получим, что предварительный радиус равен:



Теперь мы можем получить диаметр как большого, так и малого зеркал:

 (4.7)



При этом диаметр малого зеркала определяется в соответствии с рекомендациями:





В дальнейшем нам необходимо учитывать площадь затенения, иными словами определить площадь малого зеркала, и соответственно вычислить радиус раскрыва с учетом этой площади. Площадь тени можно определить как:

, (4.8)

где 



Теперь нам необходимо проверить соотношение *R*/0 < *R*0. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что условие удовлетворено. Дальнейший расчет основан на выборе угла раскрыва (*Ψ0*) и угла облучения (*φ*2):

*Ψ*0= 1000…1050, примем *Ψ*0=1030;

*φ*2= 400…410, примем *φ*2=410;

**4.4 Расчет эксцентриситета малого зеркала гиперболы, фокусных расстояний зеркал и диаметра облучателя**

; (4.9)



Для дальнейшего расчета нам необходимо определить фокусное расстояние большого (*F*) и малого (*f*) зеркал. Это можно сделать, используя следующее соотношение:

; (4.10)



Из приведенного выше соотношения видно, что *Fэ* определится как:

; (4.11)



Теперь рассчитаем фокусное расстояние малого зеркала, при этом формула для его определения выглядит следующим образом:

; (4.12)



Разность расстояний от фокусов до произвольной точки на поверхности гиперболоида постоянна, т.е. , где 2*а* – это расстояние между его вершинами. Расстояние между фокусами гиперболоида . При этом эксцентриситет образующей гиперболы равен .

Рисунок 4.2 – графическое представление расстояний 2С и 2а

Теперь можно отыскать численные значения расстояний 2*С* и 2*а*. Для этого используем выражение:

; (4.13)



;



Выполним проверку на условие , условие  удовлетворено, следовательно, расстояния найдены, верно.

Необходимо определить диаметр облучателя:

; (4.14)

Таким образом, диаметр облучателя можно определить как:

;



При этом условие выполняется.

**4.5 Расчет питающей линии**

В качестве облучателя используется конический рупор, питание таких рупоров осуществляется от круглого волновода или через плавный переход от прямоугольного.

Применим круглый волновод с основной волной . Волновод должен подводить к облучателю только волну  и пропускать заданную мощность.

Соотношение радиуса волновода и критической длины волны  в волноводе:



Отсюда r, учитывая, что 



Нижняя граница работы волновода на основной частоте  определим:



=7,7 *мм*

Таким образом, радиус волновода надлежит выбирать из полученного неравенства:



Выбираем 





 из-за возможных неоднородностей, качества поверхности внутренних стенок волновода, чистоты заполняющего волновод воздуха большее значение брать не рекомендуется.

Определим максимальную мощность, которая может быть передана через волновод:



В четвертой главе произведена сравнительная характеристика антенн спутниковой связи. Наиболее актуальной для использования в проекте является двухзеркальная антенна по схеме Кассегрена. Произведен методический расчет:

– диаметров большого и малого зеркал:





– радиуса раскрыва;

– фокусных расстояний зеркал и диаметра облучателя;

– волноводной линии.

Следует отметить, что на судне приемно-передающая антенна устанавливается на гиростабилизирующую платформу, которая нейтрализует отклонение направления сигнала при качке, за счет специальной конструкции.

**5. Предложения по антенной системе для организации сотовой связи на пароме**

Наиболее распространенным вариантом при организации покрытия в небольших помещениях является установка ретранслятора, к которому по коаксиальным кабелям подключаются удаленные антенны, образуя распределенную антенную систему. Для создания нужной топологии сети используются делители мощности и направленные ответвители.

### 5.1 Предложения по организации покрытия с помощью микробазовых станций (фемтосот)

Фемтосота – маломощная и миниатюрная станция сотовой связи, предназначенная для обслуживания небольшой территории. Предоставляет все те же функции, что и «большая» сотовая ячейка, но в одном удобном для установки контейнере.

В случае если требуется дополнительная емкость, вместо ретрансляторов ставят базовые станции. Возможна также организация indoor-покрытия с использованием системы микро- или фемтобазовых станций, устанавливаемых в местах неуверенного приема.

Каждый из указанных способов имеет свои преимущества и недостатки, рассмотрим их более подробно:

Преимущества организации indoor-покрытия с использованием микро / пико-БС:

* Быстрота инсталляции, отсутствие необходимости дорогостоящей прокладки кабельных трасс.
* Возможность использования уже имеющейся в здании инфраструктуры *Ethernet* для передачи к БС как данных, так и питания.
* Легкость интеграции в существующую сотовую сеть.
* Возможность реализации сервиса *GSM-over-IP*.
* Простое частотное планирование.
* Возможность дистанционного мониторинга частотных планов с предоставлением реальных уровней сигналов в различных точках покрытия.

Недостатки организации indoor-покрытия с использованием микро / пико-БС

При организации покрытия с помощью микро / пикобазовых станций возникают следующие сложности:

* сложность конфигурации системы: требуется тщательная настройка системы для обеспечения максимально возможного коэффициента повторного использования каналов и минимизации интерференции между сотами;
* сложность масштабирования системы: в случае добавления или удаления пикосоты вся система подлежит реконфигурированию;
* возможные проблемы с хендовером: при обеспечении покрытия больших площадей возникают сложности с организацией трафика между пикосотами, поскольку список соседних пикосот ограничен;
* ограниченная плотность обслуживания: в местах с большим трафиком приходится устанавливать дополнительные пикосоты, что ведет удорожанию системы;
* общая неэффективность использования пикосот: их приходится конфигурировать с учетом обеспечения наиболее интенсивного трафика, поэтому остальную часть дня они хронически недогружены. Другими словами, оператору приходится тратиться на установку оборудования, которое будет бездействовать 80% времени;
* невозможность поддержки нескольких операторов: если владельцу здания требуется поддержка нескольких операторов, каждый оператор будет устанавливать свои БС.

**5.2 Предложения по организации покрытия с помощью распределенных антенных систем**

Распределенная антенная система, в зависимости от площади покрытия, может быть активной или пассивной. Основным преимуществом *DAS* перед системами на базе микро / пикосот является возможность передачи широкополосных сигналов (работа в диапазоне частот от 300 *МГц* до 2,5 *ГГц*). Это позволяет использовать *DAS* для обслуживания нескольких операторов, работающих в разных стандартах и частотных диапазонах (многодиапазонный, мультиоператорский режим, обеспечивающий работу в стандартах *GSM900/1800, 3G, Wi-Fi, WLAN*), и избежать необходимости параллельного развертывания каждым оператором своих собственных *DAS*.

*Преимущества пассивных**DAS*

* Отсутствие необходимости в техническом обслуживании и регулировке компонентов сети.
* Отсутствие дополнительных шумов или интермодуляционных помех в системе позволяет реализовывать многоканальный режим работы без какой-либо деградации услуг за счет возможной интерференции. Таким образом, пассивные *DAS* можно с успехом использовать и в сетях *3G*.

*Недостатки пассивных DAS*

* Существенные затраты на прокладку коаксиальных кабелей большого диаметра.
* Небольшие размеры обеспечиваемого покрытия вследствие затухания в коаксиальных кабелях. Максимальное удаление антенны от источника сигнала не может превышать нескольких сотен метров.
* Проблемы с масштабированием системы, обусловленные зависимостью качества покрытия от длины кабельных линий связи. При больших длинах кабелей затухание сигнала ведет к возникновению зон неуверенного приема.
* Отсутствие средств мониторинга работы: если какая-либо антенна начинает работать неправильно, оператор узнает об этом только после жалоб абонентов.

Преимущества активных DAS

* Большая реализуемая площадь *indoor*-покрытия за счет большей протяженности волоконно-оптических линий связи.
* Гарантированный уровень сигнала на входе каждой антенны независимо от ее удаления от точки входа.
* Возможность дистанционного мониторинга и управления каждой конкретной антенной позволяет локализовать возникающие проблемы с качеством связи.
* Отсутствие интерференции между антеннами.
* Простое масштабирование – легкость увеличения площади покрытия и его емкости.
* Отсутствие ограничения на количество устанавливаемых антенн – поскольку каждая антенна является расширением только одного источника сигналов, нет необходимости в конфигурации каждой антенны под конкретное место инсталляции.

Следует отметить, что активные *DAS* с использованием ретрансляторов в ряде случаев оказываются предпочтительнее *DAS* с использованием БС даже при необходимости обеспечения дополнительной емкости.

Наиболее перспективными видами indoor-систем являются активные распределенные антенные системы, позволяющие организовать единую широкополосную среду для реализации любых видов беспроводного доступа, включая *GSM/UMTS/WLAN/Wi-Fi*. Таким образом, удается избежать необходимости организации каждым оператором своей собственной инфраструктуры. Отличием от стандартных решений является использование в таких системах в составе удаленных блоков универсальных модулей, позволяющих осуществить масштабируемую интеграцию всех существующих беспроводных сервисов.

При необходимости добавления к распределенной сети, например, сервиса *WLAN* в удаленный блок просто встраивается соответствующий модуль. Если нужно внедрить сервис *Wi-Fi*, в систему добавляется модуль *Wi-Fi*. При использование таких универсальных модулей *Wi-Fi-*точки доступа размещаются только в вместе с удаленным блоком в специальных стойках, устанавливаемых в подсобных помещениях.

Для управления столь сложными сетями используются специальные системы управления, обеспечивающие удаленный мониторинг, диагностику и управление сетью в режиме реального времени. Параллельно проводится мониторинг внешнего окружения (уровни сигналов от базовых станций и ретрансляторов), что позволяет оперативно локализовать возникающие проблемы в сети еще до того, как они начинают оказывать влияние на предоставляемые услуги. Системы управления работают под *Unix* или *Windows*.

**5.3 Выбор параметров оборудования для сотовой связи парома**

Для развертывания сети *GSM* на пароме следует интегрировать на борту микробазовые станции / фемтосоты. Необходимым требованиям соответствует оборудование компании *Huawei Technologies.*

Базовая приемопередающая станция *BTS3900B* относится к типу оборудования pico *BTS* комнатного исполнения и обладает очень высокой производительностью. *BTS3900B* обладает достаточно широкими возможностями. Характеризуясь высоким уровнем интеграции и поддержкой *IP*-передачи, *BTS3900B* позволяет операторам предоставлять качественные услуги в местах со слабым приемом на высокой скорости и с наименьшими затратами.

*BTS3900B* относится к четвертому поколению *BTS*, линейке *BTS3900*, разработанному компанией *Huawei*.

Имея небольшие габариты и вес, *BTS3900B* поддерживает различные частотные диапазоны и легко устанавливается. Также она поддерживает GPRS/EDGE и эволюционный переход на *EDGE+.*

*Быстрое развертывание сети в сочетании с низкими затратами*

* Габариты *BTS3900B* составляют 230 *мм* x 52,5 *мм* x 165 *мм*. По сравнению с традиционными станциями *BTS, BTS3900B* позволяет операторам урезать инвестиционные расходы на приобретение сайта и строительство автозала.
* *BTS3900B* может установить один человек с помощью нескольких обычных инструментов.
* Станция *BTS3900B* весит всего лишь 1,5 *кг*, поэтому для ее перевозки не требуется особое вспомогательное оборудование, и расходы на ее установку значительно сокращаются.
* *BTS3900B* имеет компактное модульное строение. Она легко собирается и разбирается, что является преимуществом при быстром развертывании сети.

Покрытие внутри помещений высокого качества *BTS3900B* обеспечивает покрытие зон слабого приема на участках с наиболее интенсивным трафиком.

* может функционировать на следующих частотных диапазонах: 850 *MГц*, 900 *MГц*, 1800 *MГц* и 2900 *MГц*.
* поддерживает технологию питания через Ethernet (сокр. *PoE*).
* Станция *BTS3900B* имеет вход электропитания *AC*. Питание – 110 *В* *AC* или 220 *В* *AC* через адаптер питания *AC/DC*.

Экологичный дизайн

* *BTS3900B* применяет новейшие технологии в части усиления мощности и потребления питания, что позволяет уменьшить использование ресурсов. При использовании одного приемопередатчика используется питание мощностью 13 *Вт*, при использовании двух – 18 *Вт*. Потребление питания каждого приемопередатчика *BTS3900B* в сравнении с приемопередатчиками традиционных *BTS* намного экономичнее.

*Поддержка GPRS и возможности эволюционного перехода на EDGE+*

* *BTS3900B* поддерживает услуги *GPRS/EDGE*.
* *BTS3900B* поддерживает эволюционный формат *EDGE+.*

**Заключение**

В соответствии с заданием в дипломной работе обоснована телекоммуникационная система и выполнены практические расчеты элементов системы, обеспечивающей связью пассажиров парома сообщением Калининград-Санкт-Петербург, через спутниковую линию связи.

В процессе выполнения дипломного проекта получены следующие практические результаты:

1. Разработана модель информационной телекоммуникационной системы связи и обоснованы ее параметры.
2. Выполнена оценка планового трафика сети и рассчитана необходимая пропускная способность.
3. Обоснована спутниковая система, её частотный диапазон и технология передачи данных.
4. Рассчитано затухание сигнала на линии радиосвязи, энергетические параметры приемных и передающих устройств, коэффициент усиления антенн земной станции и ретранслятора на приём и на передачу выходная мощность передатчиков земной станции и ретранслятора связи на ИСЗ.

Коэффициент усиления антенны земной станции ;

ретранслятора – .

Рассчитанная выходная мощность передатчиков земной станции ;

спутника – .

1. Обоснована конструкция приемно-передающей антенны.
2. Выполнен расчет диаметров большого и малого зеркал, радиуса раскрыва, фокусных расстояний зеркал и диаметра облучателя, питающей линии.

Диаметр большого зеркала ;

малого – .

1. Рассмотрены технологии антенных систем для организации сотовой связи на пароме.
2. Предложены параметры необходимого оборудования.

Таким образом, задачи, разработанные в проекте, выполнены, поставленная цель достигнута. Задание на дипломный проект выполнено в полном объеме.

**Список литературы**

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь

2. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. Учебник для ВУЗов. – М.: Радио и связь

3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь

4. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. и др. Цифровые и аналоговые системы передачи. Учебник для ВУЗов. – М.: Радио и связь

5. Баева Н.Н., Гордиенко В.Н., Курицын С.А. Многоканальные системы передачи. Учебник для ВУЗов. – М.: Радио и связь

6. Беллами Дж. Цифровая телефония. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986, – 544 с.

7. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. М.: Эко – Тредз

8. Волоконно-оптические системы передачи и кабели. Справочник / И.И. Гроднев, А.Г. Мурадян, P.M. Шарафутдинов и др.

9. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: в 2-х ч. Пер. с англ. – М.: Наука

10. Автоматическая коммутация. Под ред. Ивановой О.Н.

11. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы.

12. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи.

13. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений. / Под ред. Г.П. Захарова – М.: Радио и связь

14. Надежность и живучесть систем связи. / Под ред. Б.Я. Дудника

15. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи.

16. Теория сетей связи. / Под ред. В.Н. Рогинского – М.: Радио и связь

17. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика.