

ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
АЛЕКСАНДРА ГРИГОРЬЕВИЧА И НИКОЛАЯ ГРИГОРЬЕВИЧА
СТОЛЕТОВЫХ

На правах рукописи



ЖОАУ АМАРУ ФРАНШИСКУ АЛБЕРТУ

**РАЗРАБОТКА НАЦИОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ АНГОЛА**

Специальность: 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Самойлов А. Г.

Владимир 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень сокращений		4
Введение		6
Глава I	Разработка концепции создания национальной спутниковой сети связи Республики Ангола	10
1.1.	Климатические и географические условия страны	10
1.2.	Анализ состояния телекоммуникаций Республики Ангола	13
1.3.	Использование и регулирование в области радиочастотного спектра Республики Ангола.....	17
1.4.	Исследование путей построения национальной сети спутниковой связи	20
	Выводы к главе 1	26
Глава II	Разработка сети спутниковой связи Республики Ангола	27
2.1.	Выбор оборудования для космического сегмента спутниковой сети связи	27
2.1.1.	Основные характеристики спутника АНГОСАТ	28
2.1.2.	Выбор диапазонов и полос частот	30
2.1.3.	Расчет ожидаемых зон обслуживания	32
2.2.	Оборудование станций наземного сегмента спутниковой сети связи	34
2.2.1.	Разработка структуры станций наземного сегмента	34
2.2.2.	Анализ и выбор видов модуляции сигналов для сети спутниковой связи	38
2.3.	Разработка методики расчета линий спутниковой связи.....	42

2.4.	Расчет замираний сигнала на линиях спутниковой связи Республики Ангола	70
2.5.	Исследование путей реализации цифрового телевидения на основе спутника АНГОСАТ	78
	Выводы к главе 2	85
Глава III	Реализационные основы построения сети спутниковой связи Республики Ангола	87
3.1.	Разработка структуры взаимосвязанной инфотелекоммуникационной сети Республики Ангола.	
3.2.	Разработка алгоритма расчета линий спутниковой связи	94
3.3.	Синтез программного обеспечения для расчета линий спутниковой связи	96
3.4.	Пример расчета линии спутниковой связи со спутником «АНГОСАТ».....	102
	Выводы к главе 3	104
Заключение		105
Литература		106
Приложение	Акт внедрения	117
А		
Приложение	Расчет границ зон обслуживания спутником	
Б	АНГОСАТ	118
Приложение	Пакет программа Google Earth	121
В		
Приложение	Расчет линий спутниковой связи Республики Ангола...	122
Г		

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

БРК - бортовой ретрансляционный комплекс
ВОСП - волоконно-оптическая система передачи;
ВРК – временное разделение каналов;
ГСР - геостационарный спутник ретранслятор;
ГССС – геостационарная сеть спутниковой связи
ДН – диаграмма направленности антенны;
ЗС – Земная станция спутниковой связи;
КА – космический аппарат;
КРК – кодовое разделение каналов;
ЛСС - линия спутниковая связи
МСД – многостанционный доступ;
МСЭ-R - международный союз электросвязи для радио-связи;
НССС – национальный спутник сети связи
ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
ПСС – подвижная спутниковая служба;
СР - спутник ретранслятор;
СС - спутниковой связи;
ССС - сети спутниковая связь;
ТФОП - телефонная сеть общего пользования;
ФСС - фиксированная спутниковая служба;
ЦЗС - центральная наземная станция;
ЦУП - центр управления полетом;
ЦУС – центр управления сетью;
ЧРК – частотное разделение каналов;
ЧЭР – частотно-энергетический ресурс;
ШСС – широковещательная спутниковая служба;
ЭИИМ – эквивалентная изотропно-излучаемая мощность;

DTH – спутник непосредственного вещания;

INACOM - Национальный орган регулирования связи.

INAMET – государственное учреждение в области исследования климатических явлений;

VSAT – терминалы с малым диаметром антенны;

Введение

Актуальность темы. Республика Ангола имеет обширную территорию, передавать и принимать информацию на которой можно со спутника, особенно в тех регионах, где наземных сетей не существует, из-за низкой плотности населения или из-за долгой войны и других факторов, которые привели к ухудшению инфраструктуры телекоммуникационного сектора. В стране работали несколько частных телекоммуникационных компаний, вследствие чего государство потеряло контроль над управлением национальной сетью спутниковой связи (ССС).

В настоящее время в Анголе два разных оператора спутниковой связи арендуют частотные ресурсы у внешнего поставщика. Официальные источники сообщают, что каждый год только на аренду этими компаниями тратится приблизительно сорок миллионов американских долларов. Структура существующей СССР в Анголе не рациональна, потому что в свое время была спроектирована для решения конкретных задач, связанных с гражданской войной и нефтяной деятельностью.

Наилучшее решение для развития телекоммуникаций в Республике Ангола это создание национальной спутниковой сети связи (НССС), взаимосвязанной со всеми наземными сетями связи республики. Для Республики Ангола задача разработки НССС является актуальной, поскольку такая сеть в состоянии обеспечить информационные услуги всему населению страны, несмотря на регионы проживания. С появлением ожидаемого в 2016 ангольского спутника АНГОСАТ, запускаемого на геостационарную орбиту, в министерстве телекоммуникации, в национальном органе регулирования связи и в других государственных органах обсуждается концепция построения национальной СССР и линий спутниковой связи (ЛСС).

Вопросы построения СССР и методика разработки ЛСС разработаны трудами таких ученых, как Л.Я. Кантор, Ю.Б. Зубарев, В.В. Шахгильдян, Л.Е. Варакин, К.И. Кукк, В.Е. Камнев, А. М. Сомов, А.И. Аболиц, Н.Т. Петрович, Н.И. В.Л. Банкет, В.М. Дорофеев, Gérard Maral, M.O. Kolawole, Дерек

Стивенсон, Мидлтон Д., Файнстен Л., Голомб С., Скаляр Бернард, Спилкер Дж, Bruce R. Elbert, Дерек Стивенсон, рекомендациями Международного союза электросвязи для радио связи (МСЭ-R) и др.

Стоит отметить, что большинство экспериментальных исследований и расчетов по ослаблению сигналов из-за дождей, снега и других гидрометеоров были проведены в Европе, Америке и в Азии, а для Африки, в том числе для конкретных климатических условий Республики Анголы, такие расчеты и оценка влияния замираний пока не проводились. Поэтому известная методика расчета ЛСС требует некоторой модификации с целью учета возможного ослабления сигналов из-за специфических климатических условий средней и южной Африки.

Цель диссертационной работы - разработка структуры, топологии и основных параметров телекоммуникационных линий национальной сети спутниковой связи Республики Ангола.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- выполнить анализ спутниковых линий связи республики и разработать топологию национальной спутниковой сети связи (НССС) на базе спутника «АНГОСАТ»;
- оценить влияния климатических условий Республики Ангола на передачу информации по спутниковым линиям связи;
- выбрать диапазоны частот и виды модуляции сигналов для НССС;
- модифицировать известную методику расчета линий НССС для учета особенностей климата Анголы;
- разработать алгоритм расчета линий связи со спутником «АНГОСАТ»;
- синтезировать программное обеспечение для расчета линий спутниковой связи.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались методы, основанные на положениях общей теории связи, теории спутниковой связи, основах построения телекоммуникационных систем,

теории вероятностей. Для расчета по разработанным алгоритмам параметров ЛСС применялись методы программирования на ЭВМ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена топология и состав НССС Республики Ангола;
2. Модернизирована методика расчета линий спутниковой связи;
3. Разработан алгоритм расчета и программное обеспечение для расчета параметров ЛСС.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Определено влияние на спутник «АНГОСАТ» сигналов соседних спутников, находящихся в орбитальных позициях 13°Е и 16°Е;
2. Модернизирована методика расчета ЛСС, позволяющая:
 - рассчитывать энергетический запас на дожди (не менее 12 дБ для спутника «АНГОСАТ»);
 - определять угол неточности наведения антенн на спутник, обеспечивающий допустимые потери мощности (для спутника «АНГОСАТ» 0.18 - 0.2°).
3. Предложен алгоритм и программное обеспечение, сокращающие время и трудоемкость расчета ЛСС.
4. Выполнены расчеты линий связи со спутником «АНГОСАТ».

Личный вклад автора. На основе проведенного анализа сформулированы задачи диссертационного исследования, предложена методика и алгоритм расчета параметров ЛСС с учетом местных климатических условий, разработана программа на ЭВМ для расчета характеристик оборудования линий спутниковой связи, лично подготовлены и опубликованы полученные результаты исследования. В оформлении публикаций и текста диссертационной работы на русском языке мне была оказана помощь.

Достоверность. Полученные в работе результаты подтверждаются применением апробированных методов и алгоритмов, а также не противоречием результатов, полученных в работе, известным из литературы и не опровергаются данными частных ЛСС, существующих в Анголе.

Положения, выносимые на защиту:

- Структура и топология национальной ССС Республики Ангола;
- Модернизированная методика расчета линий спутниковой связи;
- Алгоритм расчета линий спутниковой связи;
- Программа расчета характеристик оборудования ЛСС.

Апробация работы. Основные положения диссертации обсуждались на следующих научно – технических конференциях и семинарах:

- X международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации», Владимир, 2013;
- XI МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», Владимир – Суздаль, 2014;
- XVII Всероссийская научная конференция студентов-радиофизиков СПбГУ 2014;
- 69-я научно-техническая конференция ЛР НТО РЭС, ЛЭТИ, Санкт-Петербург, 2014.

Публикации по работе. Опубликовано 8 научных работ, из них 3 статьи в журналах из списка ВАК и 5 докладов на научных конференциях; получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, объем работы 127 страниц, 34 рисунков, 17 таблиц, и список литературы из 111 наименований.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы нашли практическое применение в качестве рекомендаций по разработке линий спутниковой связи в интересах Министерства телекоммуникации и инфокоммуникационных технологий Республики Ангола и внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», что подтверждено соответствующими актами.

ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ РЕСПУБЛИКИ АНГОЛА

1.1. Климатические и географические условия страны

Республика Ангола имеет обширную территорию, передавать и принимать на которой можно со спутника, особенно в тех регионах, где наземных сетей не существует, либо из-за низкой плотности населения или периода долгой войны и других факторов, которые привели к ухудшению инфраструктуры телекоммуникационного сектора. В стране работали несколько частных телекоммуникационных компаний, вследствие чего государство потеряло контроль над управлением национальной сетью спутниковой связи (ССС).

Отметим, что интенсивность дождя и поглощения в атмосфере по разному влияют на распространение сигнала от спутника, что влияет на качество космической связи и выбор места установки ЗС при местных климатических условиях в соответствии с рекомендациями международного союза электросвязи для радио связи (МСЭ-R) [3, 4].

Национальный институт метеорологии и геофизики, именуемое в дальнейшем INAMET, – это государственное учреждение в области исследования климатических явлений, метеорологии, геофизики и астрономии. Сеть метеорологических станций является ключевым элементом системы INAMET.

В станции установлено несколько датчиков, которые позволяют отслеживать различные метеорологические параметры, а именно: температуру воздуха, влажность, атмосферное давление, интенсивность осадков и направление ветра, солнечное излучение и др. Благодаря системе

INAMET возможно получить всю климатическую информацию, необходимую для анализа линии спутниковой связи.

В административном отношении Ангола разделена на 18 провинций, которые в свою очередь делятся на 150 муниципалитетов. Для того, чтобы сеть работала эффективно рассмотрены возможности разделить территорию Анголы на три региона соответственно с административным делением Анголы, количеством спроса услуг и числом жителей. В табл. 1.1 приведена базовая информация по каждой провинции Анголы.

Таблица 1.1. Выделения регионов и численности населения [1, 2]

	Провинция	Столица	Широта	Долгота	Население (05.2014)	Климат
Столица страна	Луанда	Луанда	08°51'59,67"	13°17'46,17"	6.5 млн	Сухой тропический
Регион 1	Кабинда	Кабинда	05°34'29,00"	12°12'02,00"	688.485 тыс.	Влажный тропический
	Заире	Мбанза Конго	06°16'20,15"	14°14'30,76"	567.225 тыс.	Влажный тропический
	Уиже	Уиже	07°36'48,89"	07°36'48,89"	1.246.354 млн.	Влажный тропический
	Бенго	Кашито	08°35'16,28"	13°39'38,16"	274.053 тыс.	Сухой тропический
	Северная Кванза	Ндалатандо	09°18'10,47"	14°55'37,68"	799.950 тыс.	Влажный тропический
	Южная Кванза	Сумбе	11°13'00,87"	13°50'52,09"	1.793.787 млн.	Сухой тропический

Большинство из 24.5 млн жителей, которые составляют население Анголы, живут в столице, это подтверждает необходимость выделения более высокой пропускной способности для столицы г.Луанда.

С появлением первого ангольского АНГОСАТ государство должно вернуть себе роль управляющего объединенного центра, таким образом уменьшая затраты на аренду частотного-энергетического ресурса (ЧЭР) геостационарного спутника ретранслятора (ГСР), обеспечивая связь на всей

территории Анголы. Получение контроля над сетью должно привести к повышению надежности и обороноспособности.

Окончания табл.1.1

	Провинция	Столица	Широта	Долгота	Население (05.2014)	Климат
Регион 2	Бенгела	Бенгела	12°35'18,18"	13°24'00,89"	2.036.662 млн	Сухой тропический
	Намибе	Намибе	15°12'02,54"	12°09'41,68"	471.613 тыс.	Сухой тропический
	Уила	Лубанго	14°54'49,07"	13°28'02,37"	2.354.398 млн	Тропический высотный
	Уамбо	Уамбо	12°46'36,48"	15°43'57,04"	1.896.147 млн	Тропическая
	Бие	Куито	12°21'53,67"	16°56'19,39"	1.338.923 млн	Тропическая высота
	Северная Лунда	Дундо	11°13'00,87"	13°50'52,09"	799.950 тыс	Влажный тропический
Регион 3	Южная Лунда	Сауримо	09°39'31,92"	20°23'47,39"	510.369 тыс	Влажный тропический
	Мошико	Луена	11°46'36,95"	19°53'48,19"	727.594 тыс	Тропический высотный
	Кунене	Онджива	17°04'10,35"	15°43'11,04"	965.288 тыс	Сухой тропический
	Куандо - Кубанго	Менонге	14°39'23,00"	17°42'09,00"	516.077 тыс	Сухой тропический
	Маланже	Маланже	09°32'37,32"	16°20'48,51"	968.135 тыс.	Влажный тропический

Таким образом, задача разработки новой структура ССС, обеспечивающий возможность создания направленной на благо населения общедоступной телекоммуникационной сети, является актуальной.

1.2. Анализ состояния телекоммуникаций Республики Ангола

Развитие телекоммуникационной сети в Анголе можно условно разделить на три разных этапа:

- до получения независимости (1885-1974 гг.);
- после получения независимости (1975-2001 гг.);
- после гражданской войны (2002 г).

В 1974 г еще до получения независимости была запущена в эксплуатацию первая земная станция (ЗС) спутниковой связи, которая показана на рисунке 1.1. Эта ЗС имела 120 телефонных каналов и 72 телеграфных, а также была оснащена приемопередатчиком, способным передавать телевизионные сигналы, однако в этот момент Ангола испытала трудное время в своей истории, так как шла гражданская война.



Рисунок.1.1. Первая наземная станция в Анголе (1974 г.)

В 2001 г. в стране была выдана первая лицензия на предоставление услуг сотовой связи, соответствующих стандарту GSM, это было очень большой прорыв для всего сектора телекоммуникаций. За один год спрос на телекоммуникационные услуги вырос втрое, потому что после длительного периода гражданской войны начался процесс восстановления страны. Но война сильно повредила всю имевшуюся телекоммуникационную сеть [5], которая и сейчас остается далекой от совершенства.

Таким образом, анализ состояния телекоммуникаций в Республике Ангола целесообразно проводить не в абсолютных показателях, а в процентных соотношениях, что позволяет более объективно оценить структуру, динамику и перспективы развития системы телекоммуникаций. Следует отметить, что на структуру телекоммуникаций в Анголе оказало влияние то, что наряду с естественными монополистами в конце 90-х гг. в стране появились новые операторы телекоммуникаций, в том числе частные предприятия, предоставляющие некачественные услуги спутниковой связи. В те годы из-за войны и целого ряда других проблем государство потеряло возможность построить общую объединенную ССС.

С 2000 по 2015 г в стране было выдано около 740 лицензий на телекоммуникационные услуги, из них 15% на оказание услуг междугородной стационарной телефонной связи, 35% на услуги сотовой связи и 50% на услуги передачи данных [6, 7, 8]. Эти цифры свидетельствуют о том, какими быстрыми темпами развивается телекоммуникационные услуги в стране. Сегодня число операторов, имеющих высокую долю на рынке телекоммуникаций и вкладывающих значительные инвестиции в создание новых сетей и развитие передовых технологий, еще возросло.

Наибольшими темпами развивались сотовая связь и интернет. Их доли в общем объеме услуг телекоммуникации за указанный период увеличилось соответственно на 6.51% и 63.74% [7, 8]. Эти показатели связаны с активной деятельностью частных операторов, доля которых за прошедшие три года увеличилась в несколько раз. На рисунке 1.2 показана динамика роста разных видов услуг связи.

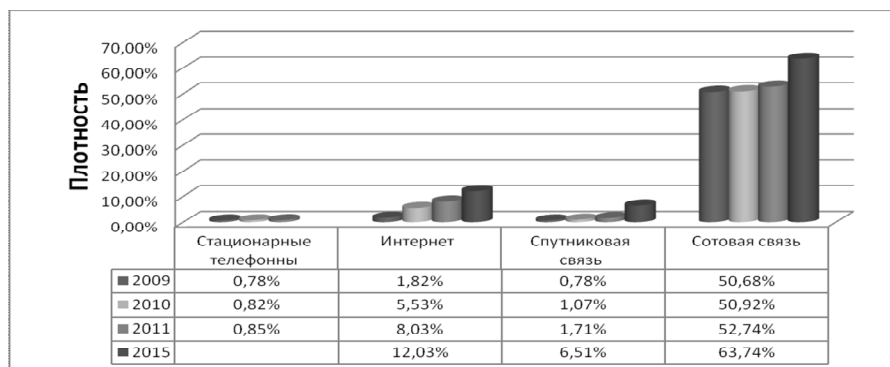


Рисунок.1.2. Динамика роста видов услуг связи

Ангола сейчас один из самых больших мобильных рынков телекоммуникаций в Африке. Однако, несмотря на быстрый рост сотовой связи, фактический уровень доступа населения к телекоммуникационным услугам остался очень низким, что тормозит развитие страны.

Несмотря на экспоненциальный рост протяженности оптоволоконной сети в стране нужно отметить, что большая часть национальной территории остается без телекоммуникационных услуг (это области к востоку страны). Одна из причин заключается в том, что прокладка волоконно-оптической линии продолжительна и дорога, поэтому построение ССС может быстро решить проблему информационного неравенства, стимулировать развитие малого и среднего бизнеса в ряде регионов и может стимулировать развитие отечественных технологий космической связи.

Территории, в которых волокна еще нет, будут присоединяться к другим провинциям страны через проектируемую ССС, а существующие волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) страны, показанные на рисунке 1.3, будут дополнять проектируемую ССС и благодаря этому резко увеличится количество абонентов телекоммуникационных услуг.

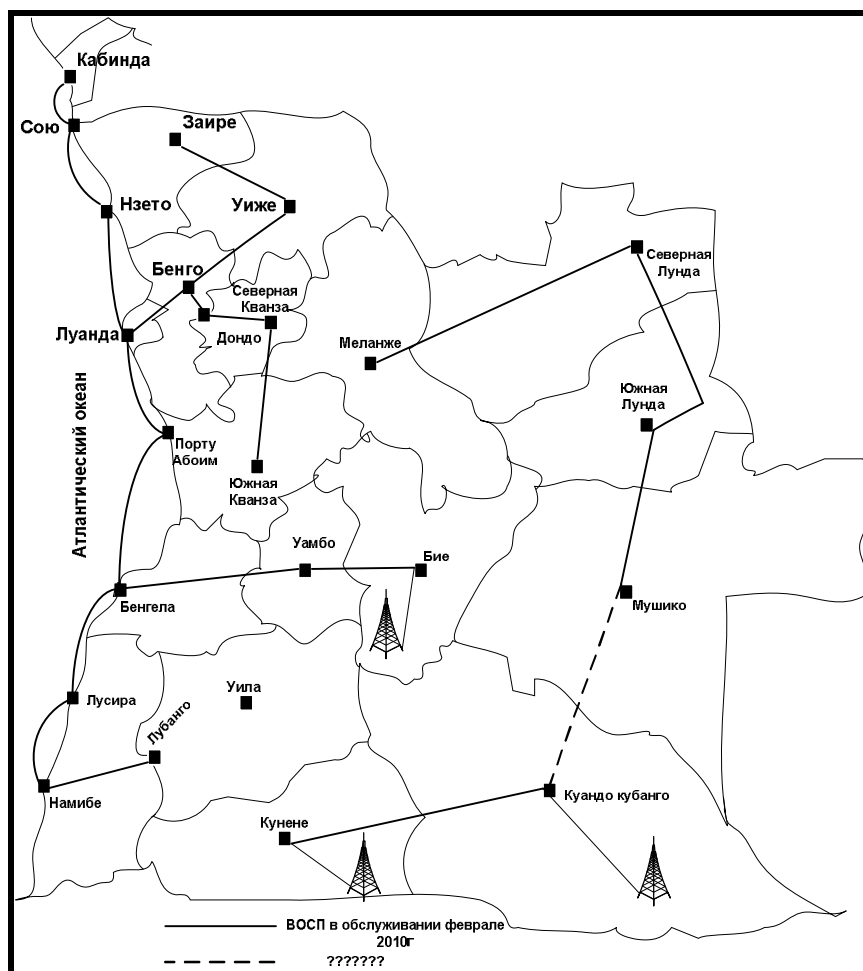


Рисунок 1.3. Волоконно-оптические линии связи

В историческом плане развития Анголы, большинство существующих сетей связи развивались независимо друг от друга, в результате чего сформировалось несколько независимых и невзаимосвязанных сетей. Вследствие чего нет регулирования в сфере связи. В данном направлении работало несколько частных компаний, вследствие чего государство потеряло контроль над управлением национальной ССС.

В Анголе существуют два разных оператора спутниковой связи которые арендуют частотные ресурсы у внешнего поставщика. Официальные источники сообщают, что каждый год только на аренду этими компаниями тратится приблизительно сорок миллионов американских долларов. Кроме этого структура существующей ССС не

рациональна, т.к. налицо ее низкая экономическая эффективность и невзаимосвязанность с другими наземными сетями.

Все эти негативные факторы, упомянутые здесь, препятствуют повышению качества телекоммуникационных услуг населению. Таким образом, глубокое понимание проблем в этой области позволяет создать прочную основу для развития телекоммуникационных услуг, а при помощи спутника «АНГОСАТ» можно свести к минимуму вышепредставленные проблемы.

1.3. Использование и регулирование в области радиочастотного спектра Республики Ангола

Для спутниковой связи ЧЭР является существенным, поэтому в диссертационной работе рассмотрено состояние радиочастотного спектра в Анголе. Для ангольского государства использование и регулирование ЧЭР имеет стратегически важное значение. Поэтому рациональное использование ЧЭР дает возможность подключить население страны к спутниковой связи и широко использовать преимущества информационного общества. Таким образом, мы понимаем, что развитие услуг на основе радиочастотных технологий является технической стратегией на восполнение отсутствия базовой инфраструктуры телекоммуникаций в Анголе.

При этом национальный орган регулирования связи (INACOM) [6] отвечает за планирование, управление и контроль за использованием ЧЭР по всей стране. И сейчас, чтобы удовлетворить спрос на ЧЭР, INACOM проводит реформы и интенсивное обсуждение проблемы государственной модели использования и регулирования радиочастотного спектра Республики Анголы. Есть три различные модели этой деятельности. Первая, либеральная, состоит в том, что у оператора есть возможность выбирать диапазон рабочей частоты и определенную технологию. По

второй модели государство стремится направить рост услуг в соответствии с его планами путем введения целевых задач к операторам связи. И третья является гибридной системой, где государство играет роль регулятора за использованием ЧЭР и одновременно вместе с оператором определяет и согласует краткосрочные и среднесрочные стратегии использования ЧЭР.

Гибридная модель требует больших усилий от регулятора. Необходимо знать потребности страны в ЧЭР и распространении телекоммуникационных услуг, понимать динамику рынка, а также наиболее эффективные технологические решения для среднесрочной и долгосрочной перспективы. Достоинство гибридной модели в том, что она позволяет защищать национальные интересы государства, а также интересы частного оператора. В табл. 1.2 и 1.3 представлено назначение рабочей частоты существующей сети Республики Ангола для нескольких операторов.

Таблица 1.2. Назначение рабочей частоты сети Республики Ангола [6]

Полосы	Операторы						резервирован ие 2015
	UNITEL	MOVICEL	AT	STARTEL	MSTELCOM/ ACS/NET ONE	ITELNET	
400 MHz	0	0	2,50 MHz	0	0	0	0
700 MHz	0	0	0	0	0	0	70-90 MHz
800 MHz	0	32 MHz	0	0	0	0	140 MHz
900 MHz	40 MHz	40 MHz	0	0	0	0	40 MHz
1800 MHz	40 MHz	10 MHz	0	0	0	0	40 MHz
2100 MHz	40 MHz	40 MHz	0	0	0	0	40 MHz
2600 MHz	0	0	0	9,5 MHz	47 MHz	28 MHz	0
Резерв	-	-	-	-	-	-	250-270 MHz
Резерв для цифрового дивиденда	-	-	-	-	-	-	130-150 MHz
Спектр для каждого оператора	120 MHz	122 MHz	0	9,5 MHz	47 MHz	28 MHz	-

Таблица 1.3. Назначение рабочей частоты для нескольких операторов [6]

	UNITEL	MOVICEL	AT	STARTEL	MSTELCOM/ ACS/NET ONE	ITELNET
Спектр для каждого оператора	120 MHz	122 MHz	0	9,5 MHz	47 MHz	28 MHz
1^а Этапа (резерв)	0	0	120 MHz	0	0	0
Спектр для каждого оператора	120 MHz	122 MHz	120 MHz	9,5 MHz	47 MHz	28 MHz
	120 MHz	122 MHz	120 MHz	9,5 MHz	47 MHz	28 MHz
2^а Этапа	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz
	140 MHz	142 MHz	140 MHz	29,5 MHz	67 MHz	48 MHz
Объединение 1	140 MHz	142 MHz	140 MHz	29,5 MHz	115 MHz	
Объединение 2	140 MHz	142 MHz	140 MHz	96,5 MHz		48 MHz
Объединение 3	140 MHz	142 MHz	140 MHz	(*)	67 MHz	77,5(*)
Объединение 4	140 MHz	142 MHz	140 MHz	144,5 MHz		

Вышеприведенная таблица показывает рост спроса на спектр ЧЭР, поэтому требуется срочно разработать более эффективную модель управления использованием радиочастотного спектра. Результаты проведенного анализа показали, что есть возможность выделить полосу частоты для наземных станций спутника «АНГОСАТ» без возникновения помех. Для этого в последние годы INACOM принял сбалансированное решение о том, что использование спектра является его прерогативой, чтобы защитить национальный суверенитет Анголы, учитывая стратегический характер и недостаток радиочастотного ресурса.

1.4. Исследование путей построения национальной сети спутниковой связи

Пути построения национальной сети спутниковой связи

По инициативе Министерства телекоммуникаций и информационных технологий Республики Ангола принято решение о запуске на геостационарную орбиту своего национального спутника связи (СС) «АНГОСАТ», на базе которого и будет построена ССС страны. Однако, прежде чем говорить об общих подходах или концепциях построения спутниковой информационной сети в Республике Ангола, необходимо провести анализ путей построения такой ССС.

ССС - это совокупный набор двух сегментов – космического и наземного. Наземный сегмент состоит из комплексов технических средств (земных станций - ЗС), обеспечивающих обмен информацией по спутниковым каналам связи между территориально распределенными объектами через геостационарный спутник ретранслятор (ГСР) [9]. Космический сегмент это СС «АНГОСАТ», который выводится в восточном направлении на круговую орбиту с нулевым наклоном (в экваториальную плоскость) и с высотой над поверхностью Земли 35800 км. Эта орбита характеризуется тем, что угловая скорость спутника совпадает по величине и направлению с угловой скоростью вращения Земли и теоретически геостационарный спутник является неподвижным относительно точки экватора (подспутниковой точки), над которой размещается ретранслятор [10].

Обобщенная структура ССС может быть представлена в виде наземного и космического сегментов, как показано на рисунке 1.4.

Наземный сегмент состоит из ЦЗС, ЗС или минихабов и обеспечивает обмен информацией между ними через ГСР, а также сопряжение с оконечной аппаратурой связи (абонентами). В состав космического сегмента

входит ГСР, выполняющий функции ретрансляции сигнала между минихабами.

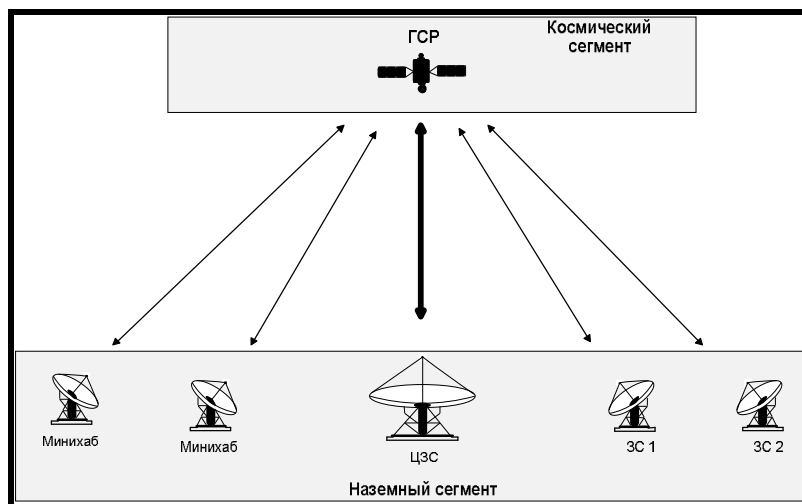


Рисунок 1.4. Структурная схема ССС. Топология ССС типа «звезда»

По виду множественного доступа (МСД) ССС бывают с временным ВРК, частотным ЧРК и кодовым КРК разделением каналов [11 – 15].

При ВРК с МСД время разбито на интервалы называемые кадрами. Каждый кадр делится на временные интервалы (один или более временных интервалов), которые периодически повторяются на протяжении каждого кадра. Каждая наземная передающая станция транслирует информацию в виде пакетов таким образом, чтобы они поступали на спутник в соответствии с установленным расписанием [14, 16]. После принятия транспондером, такие пакеты ретранслируются на Землю вместе с информацией от других передающих станций.

При МСД с ЧРК поддиапазоны (полосы частот транспондера) могут распределяться между различными пользователями. Каждому пользователю выделяется определенная полоса на которой он получает доступ к транспондеру. МСД с КРК сопровождается назначением для каждой станции своей уникальной кодовой последовательности, в соответствии с которой осуществляется разделение каналов ЗС [14].

В результате анализа проведенного по источникам [11 – 20] анализа сделаем сравнение общих характеристик каждого метода МСД. приведем основные достоинства и недостатки методов МСД в таблице 1.4.

Таблица. 1.4. Достоинства и недостатки МСД

	Достоинства	Недостатки
ВРК	Большое число каналов Высокая эффективность использования полоса пропускания Отсутствие интермодуляционных помех	Большая задержка Сложная реализация Высокие требования к синхронизации ЗС ЗС необходимо большая мощность и широкая полоса пропускания из-за скорости передачи
ЧРК	Каналы FDMA не требуют синхронизации или централизованного распределения времени Каждый из каналов независим от остальных Простота реализации	Наличие интермодуляционных помех Плохая гибкость для реконфигурации потока информация
КРК	Синхронизироваться должны только передатчики и приемники каждой группы Высокая помехоустойчивость Поддерживает каналы с замираниями	Очень сложная реализация С ограничением по мощности (помехи от других пользователей)

По топологическим признакам ССС могут быть построены по полносвязной схеме, типа «звезда» и «каждый с каждым». В ССС схема «звезда» (рисунок. 1.4) является наиболее распространенной. Центральная наземная станция (ЦЗС) обеспечивает управление трафиком и работой всех

компонентов, обмен между ЗС осуществляется через ЦЗС в два «скачка». Сети построенные в соответствии с данной схемой, являются экономными по энергетике, потому что ЦЗС имеет большую мощность и может минимизировать размер антенн ЗС до уровня VSAT [9, 21, 22]. Но вследствие больших задержек (120-136 мс в одном направлении радиосигнала), топология «звезда» наиболее приспособлена для доступа абонентов в интернет и для организации корпоративных сетей в которых обмен данным происходит между центральным офисом и филиалами.

Полносвязная сеть позволяет всем ЗС общаться друг с другом непосредственно. Связь через ГСР осуществляется за один «скачок» (рисунок 1.5) и является оптимальной для передачи телефонии из-за сравнительно малой задержки сигнала.

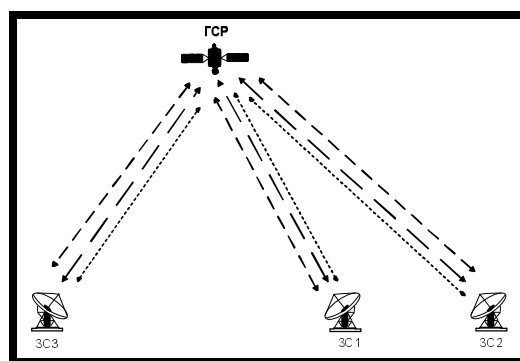


Рисунок 1.5. Полносвязная ССС

Сеть с топологией «каждый с каждым» (рисунок 1.6) может быть рассмотрена как частный случай сетей «полносвязной» и «звездой».

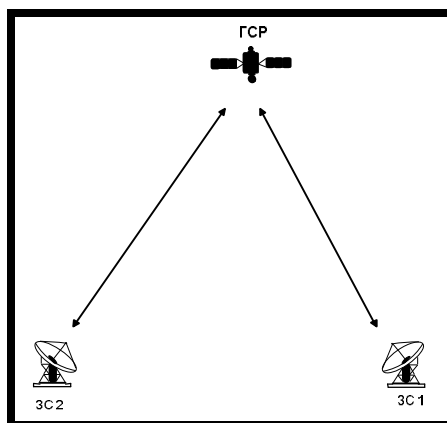


Рисунок 1.6. ССС «каждый с каждым»

Процесс выделения частотных ресурсов для ССС не прост, в том числе и для Анголы. ССС будет работать в диапазон Ku (14/12 ГГц) и C (6/4 ГГц). По результатам проведенного анализа материалов [20 – 24] в таблице 1.5 приведены основные достоинства и недостатки разных диапазонов частоты.

Таблица. 1.5. Достоинства и недостатки диапазонов частот

Диапазон	Достоинства	Недостатки
C (6/4 ГГц)	Меньше замираний сигнала из-за дождей Меньшее затухание Широкая диаграмма направленности	Использование ЗС антенн с большим диаметром Маломощный передатчик на спутнике
Ku (14/12ГГц)	Позволяет использование ЗС антенн VSAT Меньше помех с поверхности Земли	Появление замираний из-за дождей Узкая диаграмма направленности антенн Большие затухания

ССС может представить также некоторые услуги, введенные Регламентом МСЭ-R:

- фиксированная спутниковая служба (ФСС);
- подвижная спутниковая служба (ПСС), для радиосвязи между подвижными ЗС через СР;
- широкоэмитательная спутниковая служба (ШСС).

Сети ФСС предназначены для обеспечения телефонии, передачи данных, видео, телевидения и приложения VSAT (рисунок 1.7), между ЗС расположенными в фиксированных пунктах через СР.

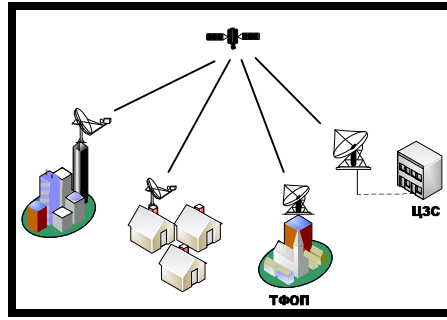


Рисунок 1.7. Общие вид ФСС

На основании проведенного анализа видно, что наилучшее решение для развития телекоммуникации в Республике Ангола это спутниковая национальная сеть. Поэтому сегодня стоит актуальная задача разработки и создания такой национальной сети спутниковой связи, которая решала бы проблему обеспечения республики телекоммуникационными услугами, чтобы обеспечивать потребности в связи различных ведомств, как гражданских, так и специального назначения.

Цель диссертационной работы - разработка структуры, топологии и основных параметров телекоммуникационных линий национальной сети спутниковой связи Республики Ангола.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- выполнить анализ спутниковых линий связи республики и разработать топологию НССС на базе спутника «АНГОСАТ»;
- оценить влияния климатических условий Республики Ангола на передачу информации по спутниковым линиям связи;
- выбрать диапазоны частот и виды модуляции сигналов для НССС;
- модифицировать известную методику расчета линий НССС для учета особенностей климата Анголы;
- разработать алгоритм расчета линий связи со спутником «АНГОСАТ»;
- синтезировать программное обеспечение для расчета линий спутниковой связи.

ВЫВОДЫ

1. Проанализировано развитие и состояния телекоммуникационной сети, следует отметить, что несмотря на быстрый рост сотовой связи пока уровень доступа к услугам спутниковой связи очень низкий (порядке 1.7% см. рисунок 1.2).
2. Рассмотрен тип ССС и МСД ВРК и ЧРК, а также концепция построения ССС в Анголе.
3. Поставлена задачи исследования и намечены пути их выполнения.

2. РАЗРАБОТКА СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ АНГОЛА

2.1. Выбор оборудования для космического сегмента спутниковой сети связи

Территория Республики Ангола находится в зонах обслуживания многих иностранных спутников связи и вещания. Существуют два частных поставщика услуг на базе иностранных спутников. Но уменьшение затрат на аренду возможно только при использовании собственного спутника.

В 2016 году запланирован запуск первого ангольского спутника с ожидаемым сроком полезного использования 15 лет, что будет совпадать с временем действия стратегического плана регулирования ЧЭР INACOM (см п.1.3). Однако пока в стране слабо развита базовая телекоммуникационная инфраструктура, а спутниковая связь считается важным элементом развития страны, поэтому включена в стратегический анализ радиочастотного спектра.

Правительством принято решение о создании национальной ССС на базе собственного спутника «АНГОСАТ», который имеет все необходимые технические характеристики для работы с проектируемой ССС.

Спутник «АНГОСАТ» будет запущен на геостационарную орбиту в позиции 14,5°в.т и будет охватывать зоны обслуживания не только в Анголе, но и других странах в Африке и Европе.

Результаты проведенного анализа построения национальной ССС (см. п.1.4) для наземного сегмента проектируемой ССС позволили разделить все каналы с помощью МСД ЧРК, ВРК либо комбинации ЧРК+ВРК в зависимости от типа передаваемой информации. Таким образом, рекомендуем использовать тип гибридных ССС. Кроме этого ССС нужно

строить так, чтобы передача данных осуществлялась по схеме «звезда» (рисунок 1.4), а телефония по полносвязной схеме.

Для выбранного спутника, в качестве стратегических рекомендаций предлагаем следующее:

- выделить часть своей пропускной способности, чтобы осуществить стратегические мероприятия, такие как интеграция секторов производства электроэнергии и добычи нефти;
- использование геостационарного спутника для предоставления голосовых услуг считается экстремальным решением, поэтому рекомендуем не использовать спутник «АНГОСАТ» для массового предоставления голосовых услуг.

Сочетание рационального использования ЧЭР и доступной пропускной способности С- и Ku-диапазонов спутника позволит ангольскому государству адекватно ответить на растущий спрос на телекоммуникационные услуги.

2.1.1. Основные характеристики спутника АНГОСАТ

Спутник рассчитан для выведения и эксплуатации на геостационарной орбите в рабочей точке 14.5°в.т., которая определена как штатная рабочая точка. Бортовой ретрансляционный комплекс (БРК) обеспечивает одновременно 16 рабочих каналов С-диапазона (шириной 72 МГц) и 6 рабочих канала Ku-диапазона (шириной 72 МГц) [25]. Полезная нагрузка С-диапазона обеспечивается африканско-европейским приемопередатчиками, а Ku-диапазона только Африканскими. В табл. 2.1 приведена полная информация о характеристиках БРК спутника «АНГОСАТ».

Характеристики спутника соответствуют соответствующим рекомендациям МСЭ-R и обеспечивают погрешность наведения антенн полезной нагрузки не более 0.2° .

Таблица 2.1. Технические параметры спутника «АНГОСАТ» [25]

Параметры		Значение
1. Разработчик / производитель		РКК Энергия
2. Модель		Ямал
3. Планируемый срок службы		15 лет
4. Орбитальная позиция		14.5° з.д.
Параметры		Значение
5. Транспондер С-диапазона		16 по 72 МГц
6. Транспондер Ku-диапазона		6 по 72 МГц
7. Общее число транспондеров		44 по 36 МГц = 1584 МГц
8. Частота трансляции С-диапазона (вверх/вниз)		5755...6395 МГц/3530...4170 МГц
9. Частота трансляции Ku-диапазона (вверх/вниз)		14 000...14 250 МГц/10 950...11 200 МГц
10. Поляризация С-диапазона		Линейная (горизонтально вверх/вниз вертикально)
11. Поляризация Ku-диапазона		Круговая поляризация, левая и правая
12. Стабилизация		Стабилизирован по 3 осям
13. Масса при запуске		1560 кг
Диапазон/ № ствола	Минимальный уровень эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ), дБ · Вт	Максимальный уровень ЭИИМ, дБ · Вт
С, W1 - W16	39.70	39.82
Ku	47	49.29
Ku	49.20	49.49
Параметры G/T, дБ/К		
С	-6	-5.89
Ku	-0.2	0.11
Ku	2.10	2.41

Окончание табл. 2.1

Плотность потока насыщения (ППН)		
	Минимальный уровень ППН дБ · Вт/м ²	Максимальный уровень ППН дБ · Вт/м ²
С	минус (96,0+X), не более	Больше 20дБ · Вт от минимума
Ки	минус (95,5+X)	Больше 20дБ · Вт от минимума
Примечание - X – значение G/T в рассматриваемом направлении		

2.1.2. Выбор диапазонов и полос частот

Быстрое развитие разнообразных ССС поставило ряд вопросов о рациональном использовании частот космическими службами радиосвязи. Возникающие проблемы международно-правового характера, разработки технически правил и процедур, регулирующих диапазоны и полосы частот, на международном уровне решает МСЭ-R. Этот союз также отвечает за контроль над использованием ЧЭР. В Анголе за это отвечает INACOM. В работах [25, 26, 27] обсуждаются необходимые меры для снижения вероятности появления помех для других наземных радиосредств. В работе [27] приведены результаты анализа уровня возможных помех и электромагнитной совместимости, которая возникает при совместной работе в общих диапазонах частот различных сетей связи в Республике Ангола.

Используемый диапазон частот соответствует рекомендациям МСЭ-R и государственным нормативным документам, изложенным в плане использования радиочастотного спектра [27, 28], регламентирующим распределение спектра и правила его использования. На основании этих рекомендаций в табл. 2.2 приведены диапазоны и полосы частот, а также поляризация радиоволн для участков связи: ЗС-СР и СР-ЗС.

Диапазон частот от 3400 до 3450 МГц выбран для слежения ЦУП за положением спутника на орбите.

Таблица 2.2. С и Ku – план диапазона частот.

Канал	Центральная частота канала, МГц		Полоса, МГц	Круговая поляризация	
	С-диапазон				
	Линия вверх	Линия вниз	Полоса пропускная	Линия вверх	Линия вниз
W1	5795.0	3570.0	72	Левая	Правая
W2	5875.0	3650.0	72	Левая	Правая
W3	5955.0	3730.0	72	Левая	Правая
W4	6035.0	3810.0	72	Левая	Правая
W5	6115.0	3890.0	72	Левая	Правая
W6	6195.0	3970.0	72	Левая	Правая
W7	6275,0	4050.0	72	Левая	Правая
W8	6355.0	4130.0	72	Левая	Правая
W9	5795.0	3570.0	72	Правая	Левая
W10	5875.0	3650.0	72	Правая	Левая
W11	5955.0	3730.0	72	Правая	Левая
W12	6035.0	3810.0	72	Правая	Левая
W13	6115.0	3890.0	72	Правая	Левая
Канал	Центральная частота канала, МГц		Полоса, МГц	Круговая поляризация	
	С-диапазон				
	Линия вверх	Линия вниз	Полоса пропускная	Линия вверх	Линия вниз
W14	6195.0	3970.0	72	Правая	Левая
W15	6275,0	4050.0	72	Правая	Левая
W16	6355.0	4130.0	72	Правая	Левая

Окончание табл. 2.2.

Канал	Центральная частота канала, МГц		Полоса, МГц	Линейная поляризация	
	Ku-диапазон				
	Линия вверх	Линия вниз	Полоса пропускная	Линия вверх	Линия вниз
S1A	14040.0	10990.0	72	Горизонтальная	Вертикальная
S2A	14125.0	11075.0	72	Горизонтальная	Вертикальная
S3A	14210.0	11160.0	72	Горизонтальная	Вертикальная
S1B	14040.0	10990.0	72	Вертикальная	Горизонтальная
S2B	14125.0	11075.0	72	Вертикальная	Горизонтальная
S3B	14210.0	11160.0	72	Вертикальная	Горизонтальная

2.1.3. Расчет ожидаемых зон обслуживания

Известные параметры антенны С и Ku диапазонов позволяют рассчитать зоны обслуживания спутником «АНГОСАТ». Для формирования зоны обслуживания территорий Республики Ангола приемопередающие антенны диапазонов С и Ku расположены на геостационарной орбите в рабочей точке 14.5°в.т., что позволит обслуживать и соседние страны: Центральную и Южную Африку, часть Европы и Америки. В табл. 2.3 показаны ожидаемые зоны обслуживания.

Результаты расчетов зон обслуживания для выбранных диапазонов частот С и Ku показаны на рисунках 2.1 и 2.2, а координаты точек границ зон обслуживания приведены в приложении А.

Таблица 2.3. Техническая спецификация спутника «АНГОСАТ» [25]

Диапазон/ № ствола	Зона обслуживания
C, W1 - W16	Зоны А и В, заданная в п. 3.1.3
Ku	Область А
Ku	Область АА
C	Зоны А и В
Ku	Область А
Ku	Область АА
C	Зоны А и В
Ku	Области А и АА

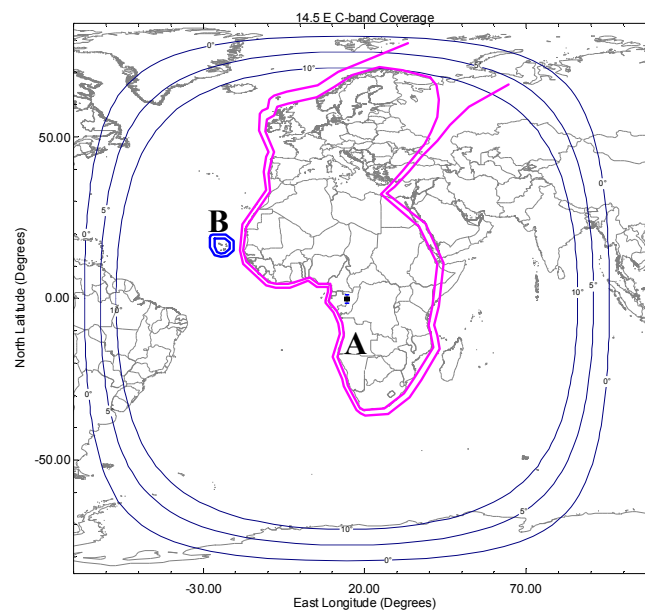


Рисунок. 2.1. Зона обслуживания C-диапазона

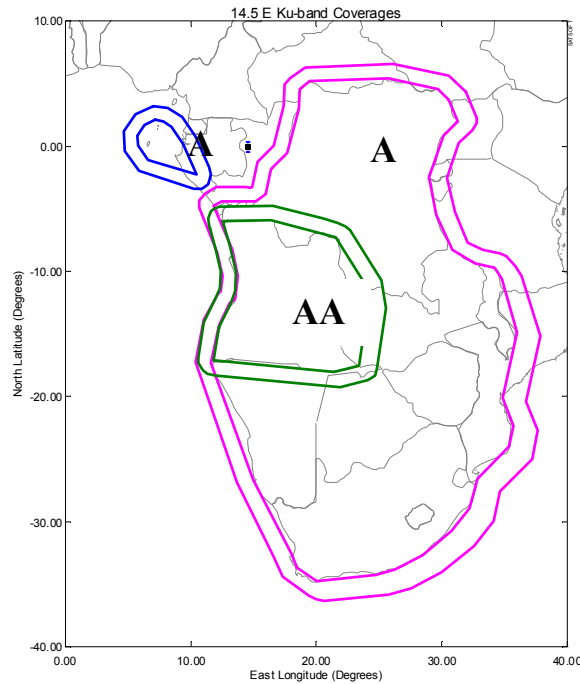


Рисунок 2.2. Зона обслуживания Ки-диапазона

2.2. Оборудование станций наземного сегмента ССС

2.2.1. Разработка структуры станций наземного сегмента

ЗС ССС состоит из передающих и приемных систем. Антенны этих систем, являются важными элементами для работы сети и должны обеспечивать высокий коэффициент усиления и низкую шумовую температуру. В работах [16, 29 – 36] приведены основные характеристики антенн для построения ССС. Определим достоинства и недостатки антенн и результаты анализа сведем в таблицу 2.4.

Таблица 2.4. Достоинства и недостатки осесимметричной антенны

Осесимметричная антенна			
	Однозеркальная антенна	Двухзеркальная антенна	
Вид антенны	Параболическая зеркальная антенна	Антенна Кассегрэна	Антенна Грегори
Достоинства	Простая конфигурация; Низкий коэффициент использования поверхности антенны; Высокая температура шума; Малый диаметр ЗС.	Высокий коэффициент использования поверхности антенны Низкая температура шума Хорошая диаграмма направленности Антенна, фидерный тракт и малошумящий усилитель могут быть установлены над главным зеркалом	Высокий коэффициент использования поверхности антенны Низкая температура шума Хорошая диаграмма направленности Антенна, фидерный тракт и малошумящий усилитель могут быть установлены над главным зеркалом
Недостатки		Сложная конфигурация и установка	

Антенны ЗС должны иметь высокий коэффициент усиления при достаточном большом коэффициенте использования поверхности и низких шумовых температурах и уровнях боковых лепестков, динамические характеристики и конструкцию, обеспечивающие сохранение электрических характеристик и надежную работу в местных климатических условиях Республики Ангола. Исходя из этого, учитывая недостатки, для данного случая наиболее подходящими видами антенны ЦЗС и минихабов проектируемой сети являются классические двухзеркальные антенны

Кассегрена, а для линии VSAT-ЗС параболическая зеркальная антенна, которые широко применяются.

На передающей ЗС происходят формирование, кодирование, модуляция и перенос на рабочую частоту сигналов одного либо группы абонентов. На приемнике ЗС наблюдается обратное преобразование сигналов, т.е. решение о том, какие сигналы и сообщения были переданы. Оборудование должно содержать передатчики, приемник антенны, усилитель мощности, каналообразующее оборудование. На рисунке 2.3 приведена структурная схема ЗС.

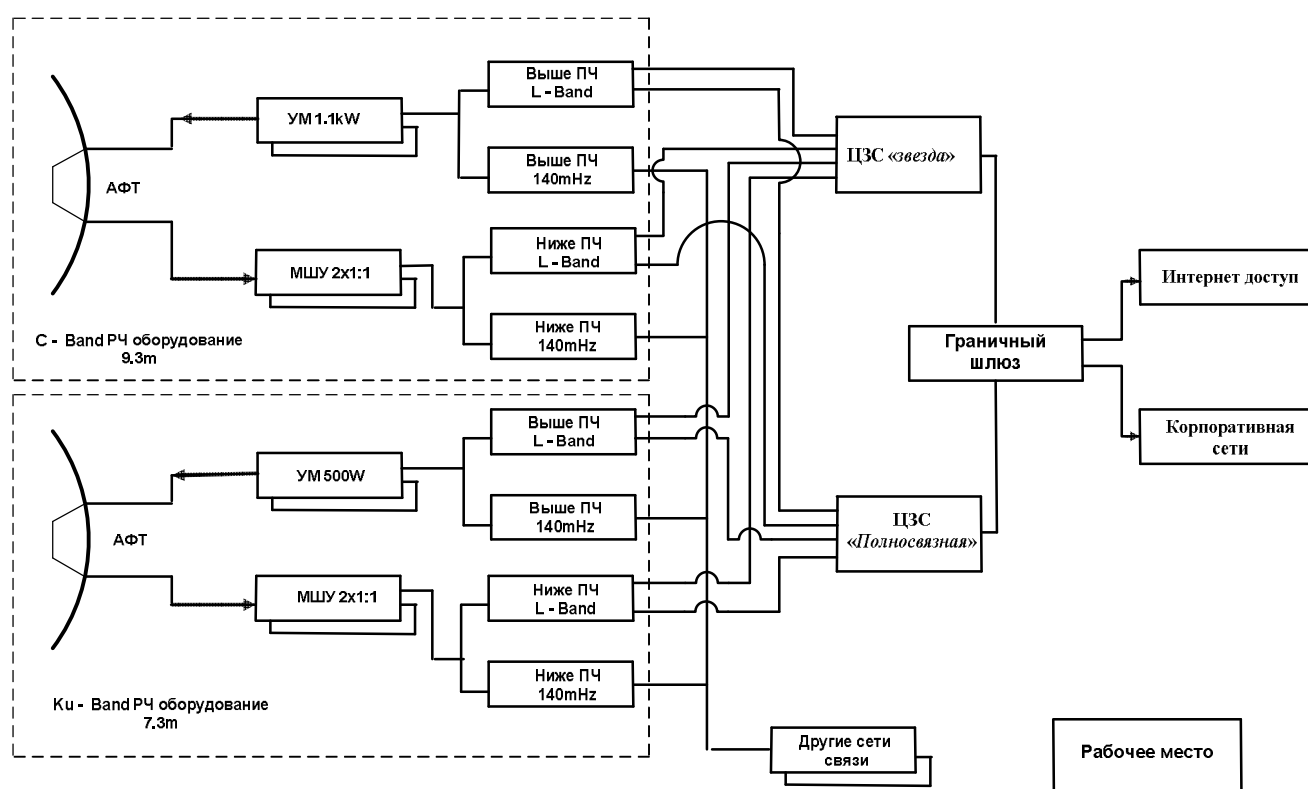


Рисунок 2.3. Структурная схема ЗС

На рисунке 2.4 представлена функциональная схема VSAT-ЗС.

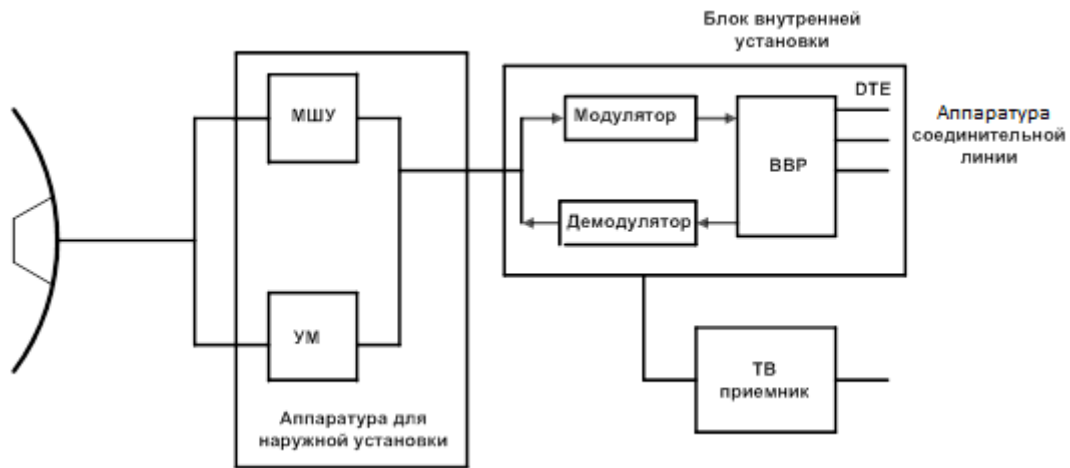


Рисунок. 2.4. Функциональная схема VSAT-3C

Антенно-волноводный тракт осуществляет прием и передачу СВЧ сигналов и состоит из антенно-волноводного фильтра (АВФ) и диплексера или фильтра разделения. Диплексер обеспечивает разделение частоты на прием и передачу СВЧ сигналов, а антенно-фидерные тракты (АФТ) – поляризационную развязку сигналов передающего и приемного трактов.

Радиочастотный тракт приема способствует усилению принятого СВЧ сигнала и с помощью малошумящего усилителя (МШУ) выделяет слабый полезный сигнал на фоне помех.

Радиочастотный тракт передачи с помощью усилителя мощности (УМ) усиливает полезный радиосигнал до требуемого уровня мощности.

Промежуточная частота обеспечивает модуляцию/демодуляцию сигнала и аналого-цифровое преобразование (АЦП) сигнала в цифровую форму и наоборот, а также перенос спектра радиосигнала из одной спектра частотной области в другую.

Каналообразующее оборудование обеспечивает мультиплексирование/демуплексирование сигнала, а аппаратура соединительной линии позволяет осуществить соединение к наземной сети, либо к потребителю, если это станция индивидуального приема.

2.2.2. Анализ и выбор видов модуляции сигналов для сети спутниковой связи

Ранее BPSK (двоичная фазовая модуляция) и QPSK для CCC (квадратурная фазовая модуляция) были наиболее часто используемыми видами модуляции. Затем появились более сложные виды модуляции 8PSK, 8QAM, 16QAM и 16APSK, которые распространены и используются современными CCC.

Проведем анализ и сравним характеристики разных методов модуляции. В табл. 2.5 результаты анализа, выполненного на основании [17, 20, 29 – 37 и т.д.].

Из анализа следует отметить, что благодаря использованию более сложных видов модуляции CCC может эффективно использовать полосу пропускания и при этом передавать большой поток данных. Для проектируемой CCC в зависимости от вида информации и состояния линии связи предлагаем использовать QPSK, 8-PSK и 16-PSK. При этом получим увеличение скорости передачи информации при QPSK в 2 раза, при 8PSK в 3 раза, при 16PSK в 4 раза.

Таблица 2.5. Основные достоинства и недостатки видов модуляции

Виды модуляции	Количество битов на один символ (бит/с/Гц)	Кодирование	Достоинства	Недостатки
BPSK	1	Viterbi	Упрощенный процесс модуляции и демодуляции	Нужна большая мощность и пропускная способность Низкая спектральная эффективность

Продолжение табл. 2.5

Виды модуляции	Количество битов на один символ (бит/с/Гц)	Кодирование	Достоинства	Недостатки
QPSK/4-PSK	2	LPDC VCH DVB – S2	Широко применяется в CCC; Хороший компромисс между мощностью и пропускной способностью; Высокая спектральная эффективность; Нужна половина пропускной способности BPSK; Большой радиус зоны обслуживания (км); Меньше отношения сигнал-шум; Может работать с мощностью транспондера, близкой к насыщению, т.е. с высокой эффективностью использования энергии; Очень низкая чувствительность к интерференции от других цифровых систем;	Сложный процесс модуляции и демодуляции и Меньше количество передаваемых ТВ программ Падение отношения сигнал шум при демодуляции

Продолжение табл.2.5

Виды модуляции	Количество битов на один символ (бит/с/Гц)	Кодирован ие	Достоинства	Недостатки
8-PSK	3	LPDC BCH DVB – S2	Высокая спектральная эффективность Можно передавать большой поток битов Меньше количество ТВ и радиус идеальной зоны обслуживания (км) Низкая чувствительнос ть к интерференции от других цифровых систем	Сложный процесс модуляции и демодуляции Нужно больше энергии на один бит (E_b); Меньше радиус идеальной зоны обслуживания (км) Падение отношения сигнал-шум при демодуляции Менее эффективен по мощности, чем QPSK;

Окончание табл. 2.5

16-APSK	4	LPDC BCH DVB – S2	Очень высокая спектральная эффективность Можно передавать большой поток битов Очень низкая чувствительнос ть к интерференции от других цифровых систем	Сложный процесс модуляции и демодуляции Нужно больше энергии на один бит (E_b); Меньше радиус идеальной зоны обслуживания (км) Падение отношения сигнал-шум при демодуляции Менее эффективен по мощности, чем QPSK;
---------	---	-------------------------	---	--

2.3. Разработка методики расчета линий спутниковой связи

Для проектирования ЛСС можно воспользоваться классическим либо неклассическим методами. Классический метод заключается в расчете и выборе значений параметров ЗС ССС, таких как мощность передатчика, диаметр антенны, добротность, плотность потока насыщения с помощью известных характеристик спутника. Неклассический метод выполняется с помощью программ на ЭВМ. Пока нет программ на ЭВМ, способных решать задачу расчета параметров сети на основе спутника «АНГОСАТ».

По материалам [38, 39] сделано сравнение общих характеристик каждого метода расчета, в табл. 2.6 приведены их основные достоинства и недостатки.

Таблица 2.6. Основные достоинства и недостатки методов расчета линий спутниковой связи.

Методы	Достоинства	Недостатки
Классический	Простые математические вычисления Не требуется вычислительных затрат Больше расчетных параметров	Нужно писать и понимать каждую формулу Долгое время расчета и трудоемкость разработки ЛСС
Неклассический (ЭВМ)	Не нужно писать и глубоко понимать используемые формулы Меньше времени и трудоемкости на разработку ЛСС Возможно решать задачи большой сложности Быстрый расчёт параметров ЛСС	Сложная реализация вычислительной программы Требуется больше вычислительных затрат Меньшее количество расчётных параметров

Использование только неклассического метода сильно ограничивает возможности полностью рассмотреть требуемые параметры ЗС. Для устранения приведенного недостатка предлагаем подход, который состоит в том, что используются классический метод и математические формулы для определения параметров ЛСС, с помощью которых можно понять, как взаимодействуют различные параметры и понять значение каждого. На основании выбранного классического метода разработаем алгоритм и программы на ЭВМ для выполнения вычислений всех необходимых значений параметров линии на базе спутника «АНГОСАТ» с учетом климатических условий Анголы. С помощью предложенного подхода можно разработать ЛСС и рассчитать все необходимые параметры для выбранного наземного оборудования.

В настоящее время существуют различного рода материалы, а также нормативы МСЭ-R [10 – 104], полученные, как правило, при наиболее характерных разработках ЛСС. Цель разработки линии связи – определить и оценить параметры ЗС.

ЛСС состоит из двух участков, т.е. линии связи вверх (от наземного передатчика до спутника) и линии связи вниз (от спутника до наземной станции). Стоит отметить, что для разработки оба участка оказываются напряженными: первый – из-за тенденции к уменьшению размера раскрыва антенн ЗС, второй – из-за стремления к уменьшению мощности передатчиков. Для разработки ЛСС используем исходные данные, которые соответствуют спецификации спутника «АНГОСАТ» (табл. 2.1), месту расположения ЗС и обеспечивают определение соответствующих параметров ЗС, необходимых для полной ее разработки.

Определение характеристик трасс связи от ЦЗС к спутнику «АНГОСАТ» в С-диапазоне

С помощью проведенного анализа выбрано место расположения ЦЗС и минихабов в каждой провинциях Республики Ангола. В приложении Б приведено месторасположение ЦЗС, определенное с помощью пакета программ Google Earth [40].

Дальше всем показателям, относящимся к земной аппаратуре, присваивают индексы «пер» и «пр», обозначающие сторону передатчика-приемника, а для спутника – «ср» соответственно. Для реализации расчета и простоты описания, представим алгоритм в виде шагов.

Шаг 1-й. После подстановки декартовых координат и размещении ЦЗС и минихабов по выбранному месту расстояние до спутника связи (СС) «АНГОСАТ» определим как [18, 19, 41]:

$$d = \sqrt{r^2 + 2R(r + R_z)(1 - \cos \xi \cos \beta)}, \quad \text{км}, \quad (2.1)$$

где ξ – широта ЗС, β – разность долготы спутника и ЗС $\beta = \gamma - \delta$, γ – долгота подспутниковой точки, δ – долгота ЗС, r – расстояние до геостационарной орбиты, R_z – радиус Земли.

Шаг 2-й. При большом расстоянии распространения сигнала между ЦЗС и СР уменьшается спектральная плотность мощности при приеме.

Угол места между ЗС и спутником рассчитывают по формулам [32, 41, 42]:

$$Y_m^\circ = \arcsin \left(\frac{K \cos \beta \cos \xi - 1}{\sqrt{K^2 - 2K \cos \beta \cos \xi + 1}} \right). \quad (2.2)$$

где K - коэффициент, учитывающий место расположения ЗС.

Так как Ангола находится в южном полушарии, а ЦЗС – к западу от спутника, для азимута получаем

$$\alpha^{\circ} = \frac{\tan \xi}{\tan[\arccos(K^{-1} \cos Y_{\mathcal{M}}^{\circ}) - Y_{\mathcal{M}}^{\circ}]}, \quad (2.3)$$

$$A_z^{\circ} = \alpha^{\circ} \quad (2.4)$$

где (2.4) – для случая, когда ЗС в южном полушарии находится к западу от спутника.

Шаг 3-й. Угол поляризации ЦЗС в плоскости, перпендикулярной к плоскости экватора [31]

$$\cos \psi = \frac{\sin \xi \left(1 - \frac{R_3}{h + R_3} \cos \beta \right)}{\sqrt{1 - \cos^2 \beta} \sqrt{1 - 2 \frac{R_3}{h + R_3} \cos \beta + \left(\frac{R_3}{h + R_3} \right)^2 \cos^2 \xi}}. \quad (2.5)$$

Для дальнейшей разработки ЛСС необходимо выбрать конкретный канал СР, с которым будет разработана ЛСС (см. табл. 2.2). Для ЦЗС используется зеркальная приемопередающая антенна с круглой апертурой. Выбранный диаметр антенны должен обеспечивать достаточный коэффициент усиления антенны для разработанной ЛСС.

Шаг 4-й. Ширина главного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны ЦЗС по уровню половинной мощности, при котором снижение усиления достигает порогового значения 3 дБ [32], составит:

$$\theta_{3\text{дБ}}^{\circ} = 70^{\circ} \frac{c}{fD}, \quad (2.6)$$

где D , [м] – диаметр антенны, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света, f , Гц – рабочая частота, передатчика.

Максимальный коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя ЗС в направлении максимума излучения определяется выражением

$$G_{\text{макс}} = 9.94 + 10 \log_{10} K_u + 20 \log_{10} \left(\frac{fD}{c} \right), \text{ дБ}, \quad (2.7)$$

где K_u – коэффициент использования поверхности антенны для двухзеркальных антенн.

Шаг 5-й. Применение антенн с наилучшими достижимыми диаграммами направленности обеспечит наиболее эффективное использование радиочастотного спектра для С и Ku-диапазонов. Согласно рекомендациям МСЭ-R [43], боковые лепестки антенны ЗС во многих случаях определяют уровень помех от других орбитальных СР. Чтобы ограничить влияние помех на частотах в диапазоне от 2 до 30 ГГц, необходимо, чтобы коэффициент усиления 90 % боковых лепестков для антенны разрабатываемой ЛСС при условии $\frac{D}{\lambda} > 50$ не превышал:

$$G(\theta) = 29 - 25 \log(\theta), \text{ дБ} \quad \text{для } \theta_{\text{мин}} \leq \theta \leq 20^\circ, \quad (2.8)$$

где $\theta_{\text{мин}} = 1^\circ$ или $100\lambda/D$ в зависимости от того, какое из значений больше;

θ – угол между главным и боковыми лепестками.

Шаг 6-й. Для расчета затухания предположим, что пространство между ЦЗС и СР свободно от объектов, которые могли бы поглощать или отражать энергию на радиочастотах и атмосфера ведет себя как совершенно однородная непоглощающая среда. При этом затухание сигнала в свободном пространстве определяется по формуле [44]:

$$L_{\text{св.}} = 32.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d, \text{ дБ}, \quad (2.9)$$

где f [МГц] и d [км].

Шаг 7-й. Неточность наведения антенн возникает из-за неточности юстировки остронаправленных антенн, а также тепловой и ветровой деформации антенных опор [45]. Авторы работ [46, 47] показали, что всегда есть неточность наведения антенн между ЗС и СР. Из-за этого

уменьшается эффективная ширина ДН антенны передатчика ЗС до величины

$$\theta_n = \frac{\theta_{3dB}}{X_k}, \text{ } ^\circ, \quad (2.10)$$

где: $1.1 \leq X_k \leq 3$ – коэффициент взаимосвязи угла наведения с диаметром антенны ЗС.

Если передающая антенна направлена неидеально, существует возможность потери сигнала. При неточности наведения центра главного лепестка применяем формулу для определения потерь

$$L_{op} = 12 \left(\frac{\theta_n}{\theta_{3dB}} \right)^2, \text{ дБ.} \quad (2.11)$$

Шаг 8-й. Имеющиеся экспериментальные и теоретические данные показывают, что в большинстве климатических районов мира, в том числе в Анголе, ослаблениями и замираниями из-за дождей можно пренебречь, если $f \leq 10$ ГГц и $\gamma_m^\circ \geq 10^\circ$ [48 – 50]. Для диапазоном С суммарные дополнительные потери рассчитываются как

$$L_{don} = L_{пол} + L_{op}, \text{ дБ,} \quad (2.12)$$

где $L_{пол}$ – потери из-за несогласованности поляризации антенн спутника.

Максимальные потери определяют по формуле

$$L_{макс} = L_{св} + L_{don}, \text{ дБ.} \quad (2.13)$$

При неточности наведения передаваемый коэффициент усиления антенны определяют по выражению

$$G_n = G_{макс} - L_{op}, \text{ дБ.} \quad (2.14)$$

Шаг 9-й. Максимальная мощность теплового шума N и спектральная плотность мощности шума N_0 [13]:

$$N = 10 \log_{10}(k T_{\Sigma.cp} \Delta f), \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.15)$$

$$N_0 = 10 \log_{10}(k T_{\Sigma.cp}), \text{ дБ} \cdot \text{Вт/Гц}, \quad (2.16)$$

где Δf – эквивалентная шумовая полоса пропускания СР;
 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Вт/К} \cdot \text{Гц}$ – постоянная Больцмана; $T_{\Sigma.cp}$ – суммарная шумовая температура приемного тракта СР.

Шаг 10-й. Потери выходной мощности на одной несущей вычисляются по формуле [28, 32]:

$$OBO = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{ум.}}{UM_{насыщ}} \right), \text{ дБ}. \quad (2.17)$$

где $P_{ум.}$ – выходная мощность УМ передатчика.

Шаг 11-й. При использовании УМ с шириной полосы не меньше 600 МГц и заданной мощности насыщения на выходе ЦЗС меньше 1000 Вт требуемая эффективная мощность на выходе передатчика, вычисляется по формуле [36]:

$$P_{пер} = 10 \log_{10} P_{ум} + G_{макс.} - L_{афт} - OBO, \text{ дБ}, \quad (2.18)$$

где $L_{афт}$ – потери в АФТ на каждый метр.

Рассмотрено $P_{пер}$ только для случая, когда использована одна несущая на ствол ЗС и СР. При использовании одновременно более одной несущей УМ не должен работать в режиме насыщения. Чтобы ограничить интермодуляционные помехи, используемый УМ должен работать вне области насыщения.

Шаг 12-й. Требуемая плотность потока мощности насыщения на входе СР, которая необходима, чтобы обеспечить нужные мощности на выходе СР, вычисляется по выражению [32 – 36]:

$$\psi_{пер} = P_{пер} - 20 \log_{10}(d) - 10 \log_{10}(4\pi), \text{ дБ} \cdot \text{Вт/м}^2; \quad (2.19)$$

напряженность электромагнитного поля E

$$E_{пер} = P_{пер} - 20\log_{10} d + 74.8, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.20)$$

мощность полезного сигнала на выходе приемной антенны ЗС

$$C_{пер} = P_{пер} + G_{ср} - L_{св}, \text{ дБ}, \quad (2.21)$$

где $G_{ср}$ – коэффициент усиления приемной антенны СР.

Шаг 13-й. Отношение несущей к тепловому шуму на разрабатываемой ЛСС [16, 28, 51]:

$$(C/N)_{пер} = P_{пер} + (G - T)_{ср} - 10\log_{10}(k\Delta f) - L_{макс}, \text{ дБ} \cdot \text{Гц}. \quad (2.22)$$

Для цифровых каналов связи требуемое отношение несущей к шуму относительно спектральной плотности мощности шума

$$(C/N_0)_{пер} = (C/N)_{пер} + 10\log_{10}(\Delta f), \text{ дБ} \cdot \text{Гц}. \quad (2.23)$$

Методы вычисления ЛСС рассматривают значение параметров до демодуляции. При этом отношение сигнала к шуму (S/N) или уровни сигнала после демодулятора не рассмотрены. Отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума позволяет оценить вероятность ошибки передаваемого сигнала

$$(E_b/N_0)_{пер} = (C/N_0)_{пер} - 10\log_{10}(R), \text{ дБ} \cdot \text{Гц/бит}, \quad (2.24)$$

где E_b – энергия на один бит; R – скорость передачи информации бит/с.

Отношение несущей к суммарной температуре находят по формуле

$$(C/T) = (C/N_0)_{пер} + 10\lg_{10}(k), \text{ дБ} \cdot \text{Гц/бит}. \quad (2.25)$$

Спектральная эффективность при модуляции типа QPSK вычисляется следующим образом:

$$\Gamma = R/\Delta f, \text{ бит с}^{-1} \cdot \text{Гц}. \quad (2.26)$$

Спутник «АНГОСАТ» находится на орбитальной позиции 14.5°Е. Так, для диапазона С участка «ЗС - СР и СР - ЗС» не рассмотрено отношение мощности несущей к помехе C/I , потому что спутники, находящиеся в

орбитальных позициях 13°Е и 16°Е, нет имеют ни одного СР в С-диапазоне. Поэтому считаем, что по частоте помех не будет [51].

Определение характеристик трасс связи от спутника «АНГОСАТ» к ЗС в С-диапазоне

По приведенной методике аналогично рассчитываем трассу связи от спутника до ЗС, изменив в выражениях (2.1) – (2.26) значения рабочей частоты, диаметра раскрыва антенны и других параметров.

Шаг 14-й. Эффективная площадь раскрыва приемника антенны

$$S = \frac{10^{\frac{G_{\max}}{10}} c^2}{4\pi f^2}, \text{ м}^2. \quad (2.27)$$

Шаг 15-й. Общий шум-фактор приемника [36 – 45]

$$F_{\text{ш}} = 10 \lg_{10} \left(1 + \frac{T_e}{T_0} \right), \text{ дБ}, \quad (2.28)$$

где T_e – эффективная температура на входе МШУ, °К; T_0 – абсолютная температура среды, °К.

Шумовая температура антенны

$$T_{a0, \text{пр.цзс}} = \left(1 - 10^{-0.1 L_{\text{атм. пр. цзс}}} \right) T_{\text{атм. пр. цзс}} + 10^{-0.1 L_{\text{атм. пр. цзс}}} T_{g, \text{пр. цзс}}. \quad (2.29)$$

Эквивалентная шумовая температура антенны является важным параметром, влияющим на добротность приемника ЗС, её можем определить по формуле

$$T_a = \frac{1}{L_{\text{афт}}} T_{a0} + \left(1 - \frac{1}{L_{\text{афт}}} \right) T_0 + \frac{1}{L_{\text{афт}}} \left(1 - \frac{1}{L_{\text{атм}}} \right) (T_{\text{атм}} - T_c), \text{ К}, \quad (2.30)$$

где T_c [К] – атмосферная шумовая температура; $T_{\text{атм}}$ – температура окружающей атмосферы; при частоте (4 – 6 ГГц значения $L_{\text{атм}}$, $T_{\text{атм}}$ и T_c весьма незначительны).

Суммарную шумовую температуру приемника ЗС находим по выражению

$$T_{\Sigma} = T_a + T_0(10^{F_w/10} - 1), \text{ К.} \quad (2.31)$$

Шаг 16-й. Требуемая эффективная мощность на входе приемника для участка СР - ЗС рассчитывается по формуле [36]

$$P_{np.цзс} = \frac{\mathcal{EИИМ}_{ср} \lambda_{np.цзс}^2 G_{np.цзс} \eta_{np.цзс}}{16\pi^2 d_{ср-цзс}^2 L_{дон}}, \text{ Вт.} \quad (2.32)$$

После несложных преобразований формулу (2.32) представим в следующем виде:

$$P_{np.цзс} = \mathcal{EИИМ}_{ср} - L_{св} + G_{макс} - L_{дон}, \text{ дБ} \cdot \text{Вт.} \quad (2.33)$$

Шаг 17-й. Плотность потока мощности на приемной антенне [31 – 34]:

$$\psi_{np} = \mathcal{EИИМ}_{ср} - 20\log_{10}(d) - 10\log_{10}(4\pi), \text{ дБ} \cdot \text{Вт/м}^2; \quad (2.34)$$

напряженность поля Е на принимающей антенне

$$E_{np} = P_{np} - 20\log_{10} d + 74.8, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.35)$$

входная мощность несущей на входе МШУ ЗС [50]:

$$C_{np} = \mathcal{EИИМ}_{ср} + G_{макс} - L_{св}, \text{ дБ.} \quad (2.36)$$

Добротность антенны на частотах $f \leq 4 \text{ ГГц}$ определяется в соответствии с тем, какова мощность сигнала на входе. С помощью этого показателя можно проанализировать ухудшение качества сигнала [52]. Добротность можно вычислить через максимальный коэффициент усиления:

$$(G/T) = G_{макс} - 10\lg_{10}(T_{\Sigma}), \text{ дБ} \cdot \text{К}^{-1}. \quad (2.37)$$

Шаг 18-й. Отношение сигнал-шум на разрабатываемой ЛСС [17, 28, 30, 52] вниз

$$(C/N)_{np} = \mathcal{EИИМ}_{ср} + (G/T) - 10\log_{10}(k\Delta f) - L_{макс}, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.38)$$

максимальное допустимое отношение сигнал-шум относительно спектральной плотности мощности шума

$$(C/N_0)_{np} = \text{ЭИИМ}_{cp} + (G/T) - 10 \log_{10}(k) - L_{\text{макс}}, \text{ дБ} \cdot \text{Гц}; \quad (2.39)$$

отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума

$$(E_b/N_0)_{np} = (C/N_0)_{np} - 10 \log_{10}(R), \text{ дБ}; \quad (2.40)$$

отношение несущей к суммарной температуре вычисляем по формуле

$$(C/T)_{np} = (C/N_0)_{np} + 10 \lg_{10}(k), \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.41)$$

ожидаемый суммарный сигнал-шум на разрабатываемой ЛСС вверх и вниз

$$(C/N)_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{(C/N)_{\text{нep}}}{10}} + 10^{\frac{(C/N)_{\text{np}}}{10}} \right), \text{ дБ}; \quad (2.42)$$

$$(C/N_0)_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{(C/N_0)_{\text{нep}}}{10}} + 10^{\frac{(C/N_0)_{\text{np}}}{10}} \right), \text{ дБ}; \quad (2.43)$$

суммарное отношение энергии бита к спектральной плотности

$$(E_b/N_0)_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{(E_b/N_0)_{\text{нep}}}{10}} + 10^{\frac{(E_b/N_0)_{\text{np}}}{10}} \right), \text{ дБ}. \quad (2.44)$$

Шаг 19-й. Энергетический запас линии связи M находим по формулам [14, 28, 32, 53]:

$$M_{np} = P_{np} + (C/T) - (E_b/N_0)_{np} - 10 \log_{10} R - 10 \log_{10} k - L_{cs}, \text{ дБ}. \quad (2.45)$$

Выражение (2.45) энергетического резерва линии связи содержит все параметры, влияющие на достоверность передачи по каналу связи. После расчета и для поддержания положительного баланса необходимо найти приемлемое соотношение между всеми параметрами. Результаты расчетов ЛСС по приведенной методике будут подробно рассмотрены ниже.

Вероятность битовой ошибки для дифференциальной когерентной демодуляции QPSK вычисляется следующим образом:

$$P_{B.пр.цзс} = \text{erfc}\left(\sqrt{(E_b/N_0)}\right). \quad (2.46)$$

Шаг 20-й. Влияние Солнца на ЗС является природным явлением, которое приводит к деградации диаграммы направленности приемника антенны и увеличению $T_{\Sigma пр.цзс}$, поэтому необходимо определить влияние перехода Солнца на отношение сигнал-шум либо на качество принимаемого сигнала. Данный вопрос обсуждается в публикациях разных авторов, а также в МСЭ-R. Судя по ряду публикаций [53 – 61], уже разработаны модели радиояркой температуры в С-диапазоне и ослабление *Atten* из-за Солнца:

$$T_{\text{Солнце}} = 0.5 \times 120000 f^{-0.75}, \text{ К}; \quad (2.47)$$

$$\textit{Atten} = \frac{0.036}{\sin(Y_{\text{Солнце}}^{\circ})}, \text{ дБ}, \quad (2.48)$$

где f [ГГц], $Y_{\text{Солнце}}^{\circ}$ – угол места Солнца относительно ЗС.

Шаг 21-й. Поскольку спутник «АНГОСАТ» пока не выведен на орбиту, температура антенны часто меняется, что необходимо учитывать в настоящей диссертационной работе. Для этого был использован ближайший по параметрам и уже выведенный на орбиту спутник Экспресс-АМ4 (14.05°з.д.), работающий как запасной «АНГОСАТ». Благодаря этому возможно определить интересующий угол места Солнца относительно ЗС. Таким образом, солнечную шумовую температуру на ЗС рассчитываем по формуле

$$T'_{\text{Солнце}} = T_{\text{Солнце}} \times 10^{-\textit{Atten}/10}, \text{ К}. \quad (2.49)$$

Шаг 22-й. Увеличение солнечной шумовой температуры на ЗС значительно снижает качество сигнала и может привести к недоступности ЛСС. Происходит это в момент, когда диаметр Солнца равен или

приближается к углу диаграммы направленности ЗС. Поэтому, увеличение солнечной шумовой температуры на ЗС можно вычислить по выражению

$$\Delta T_{пр.цзс} = T'_{Солнце} \left(\frac{0.53^\circ}{\theta_{3дБ}} \right)^2, \text{ К}, \quad (2.50)$$

при $\theta_{3дБ} \succ 0.53^\circ$.

Шаг 23-й. ЗС позволяет принимать на входе только волны с соответствующей поляризацией. В такой ЗС увеличенная солнечная шумовая температура вычисляется по выражению

$$\Delta T_{п.пр.цзс} = 0.5 T'_{Солнце.пр.цзс}, \text{ К}. \quad (2.51)$$

Шаг 24-й. Необходимо определить количество дней прямого попадания Солнца в диаграмму направленности ЗС [53]

$$AD = \frac{\theta_{3дБ} + 0.48^\circ}{0.4^\circ}, \text{ дн.} \quad (2.52)$$

Максимальное время перехода Солнца на ЗС

$$AM = \frac{\theta_{3дБ} + 0.48^\circ}{0.25^\circ}, \text{ мин}; \quad (2.53)$$

общая продолжительность времени каждого перехода Солнца на ЗС

$$TD = \frac{\pi \times (\theta_{3дБ} + 0.48^\circ)^2}{4 \times 0.4^\circ \times 0.25^\circ}, \text{ мин.} \quad (2.54)$$

Таким образом, можно найти ухудшение отношения сигнал-шум из-за солнечной температуры [62]

$$\Delta(C/N) = 10 \log_{10} \left(\frac{T_\Sigma + \Delta T}{T_\Sigma} \right), \text{ дБ}. \quad (2.55)$$

Определение характеристик трасс связи от ЗС к спутнику «АНГОСАТ» в Ku-диапазоне

Для Ku-диапазона разработаем ЛСС «от ЗС к спутнику и от спутника к ЗС», для двух альтернативных погодных условий: ясной погоды и ослабления сигнала вследствие дождя.

При ясной погоде расчет проводится аналогично по формулам (2.1) – (2.55), в выражениях изменяют значения рабочей частоты, диаметра раскрыва антенны и других параметров. Ниже рассмотрены данные параметры под влиянием дождя.

Модель прогнозирования ослабления сигнала при дождевых осадках

При разработке ЛСС радиоволны распространяются через тропосферу и ионосферу Земли и испытывают влияние этих сред, которые могут повышать затухания, снижать мощность сигнала, а также изменять фазу, частоту и поляризацию сигнала. Поэтому для диапазона частоты выше 10 ГГц и угла места ЗС свыше 10° необходимо рассмотреть наиболее важные виды затухания: затухание сигнала из-за атмосферных осадков, затухание в облаках, деполяризация в гидрометеорах, ослабление сигнала из-за дождя в зависимости от места расположения ЗС, а также локальных климатических условий. Все эти эффекты ослабляют сигнал. Дождь может привести к полной потере принимаемого сигнала. Влияние дождей на спутниковую связь изучено с исчерпывающей полнотой, большой объем экспериментальных данных и разных моделей прогнозирования представлен в публикациях [50, 63 – 76]. Стоит отметить, что большинство экспериментальных исследований и расчетов по ослаблению сигналов из-за дождей, снега и других гидрометеоров были проведены в Европе, Америке и в Азии, а для Африки, в том числе для конкретных климатических условий Республики Анголы, такие расчеты и оценка влияния замираний пока не проводились.

Для расчетов используют модель, предложенную рекомендациями Международного союза электросвязи [69, 70]. Модель является полуэмпирической и использует местные климатические параметры. Всем показателям, относящимся к неясной погоде (влияние дождя) ниже присваивается индекс «д».

Шаг 25-й. Эффективную высоту дождевого слоя вычислим по формуле [77]

$$h_R = h_0 + 0.36, \text{ км}, \quad (2.56)$$

где при h_0 – высота нулевой изотермы относительно уровня моря, км.

Шаг 26-й. Длина пути сигнала в дождевом слое равна

$$L_S = \frac{h_R - h_S}{\sin Y_M^{\circ}}, \text{ км}, \quad (2.57)$$

где при $Y_M^{\circ} > 5^{\circ}$ – угол места антенны; h_S – высота ЗС над уровнем моря, км [71].

Шаг 27-й. Горизонтальная проекция ЛСС рассчитывается по формуле

$$L_G = L_S \cos Y_M^{\circ}, \text{ км}. \quad (2.58)$$

Шаг 28-й. Потери сигнала в дожде вычисляются по формуле

$$\gamma_R = k(R_{0.01\%})^{\alpha}, \text{ дБ/км}, \quad (2.59)$$

где

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 Y_M^{\circ} \cos 2\tau] / 2; \quad (2.60)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 Y_M^{\circ} \cos 2\tau] / 2k \quad (2.61)$$

$R_{0.01\%}$ [мм/ч] говорит о том, что при такой средней годовой интенсивности дождевых осадков ЛСС будет доступна только 99.99 % времени года, т.е. не доступна 53 мин/год и для наихудшего месяца (апрель) составляет 4 мин/год. Параметр $R_{0.01\%}$, изложенный в базах данных [2], требуется для

определения ослабления сигнала; k, α – вспомогательные коэффициенты, зависящие от частоты, взяты из работ [72, 73]; $\tau = 0^\circ$ – угол поляризации продольного наклона по отношению к горизонтали для горизонтальной поляризации, $\tau = 90^\circ$ – для вертикальной поляризации, $\tau = 45^\circ$ – для круговой поляризации.

Шаг 29-й. Определим горизонтальный коэффициент ослабления $r_{0.01}$ для 0.01% времени

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f} - 0.38(1 - e^{-2L_G})}}, \quad (2.62)$$

где L_G [км], γ_R [дБ/км], f [ГГц].

Шаг 30-й. Находим вертикальный коэффициент $\nu_{0.01}$ для 0.01% времени

$$\zeta = \text{tag}^{-1} \left(\frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}} \right), ^\circ \quad (2.63)$$

при $\zeta < Y_m^\circ$.

$$L_R = L_s = \frac{h_R - h_s}{\sin Y_m^\circ}, \text{ км}, \quad (2.64)$$

при ЗС широта $\leq 36^\circ$, $X = 36 - |\xi|$.

Шаг 31-й. Рассчитаем эффективную протяженность трассы

$$\nu_{0.01} = \left[1 + \sqrt{\sin Y_m^\circ} \left(31 \left(1 - e^{-\left(Y_m^\circ / (1+X) \right)} \right) \frac{\sqrt{L_R \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right) \right]^{-1}. \quad (2.65)$$

определим эффективную протяженность трассы

$$L_E = L_R r_{0.01}$$

Шаг 32-й. Расчет предполагаемого ослабления сигнала получим по формуле

$$A_{0.01\%} = \gamma_R L_E, \text{ дБ.} \quad (2.66)$$

Определяем деполяризацию в гидрометеорах [72 – 77]:

Шаг 33-й. Частотно-зависимый коэффициент

$$C_f = 26 \log f + 4.1 \quad (2.67)$$

где f [ГГц] - несущая частота

Шаг 34-й. Ослабления из-за дождя на частоте несущей

$$C_A = 12.8 f^{0.19} \log_{10} A_{0.01\%}. \quad (2.68)$$

Шаг 35-й. Коэффициент поляризации

$$C_\tau = -10 \log_{10} [1 - 0.484(1 + \cos 4\tau)] \quad (2.69)$$

при $\tau = 0^\circ$.

Шаг 36-й. Угол места

$$C_\theta = -40 \log(\cos Y_m^\circ) \quad (2.70)$$

при $Y_m^\circ < 60^\circ$.

Шаг 37-й. Угол наклона

$$C_\sigma = 0.0053 \sigma^2 \quad (2.71)$$

при угле наклона капли $\sigma = 10^\circ$.

Шаг 38-й. Деполяризация из-за дождя

$$XPD = C_f - C_A + C_\tau + C_\theta + C_\sigma. \quad (2.72)$$

Шаг 39-й. Затухание радиоволн в слое облачности может быть рассчитано в соответствии с рекомендациями МСЭ-R [78 – 80]

$$A = \frac{L_{red} K_l}{\sin Y_m^\circ}, \text{ дБ/км,} \quad (2.73)$$

где приближенное значение $K_e \approx 1.2 \times 10^{-3} f^{1.9}$ [(дБ/км)/(г/м³)], f [ГГц],

$L_{red} = 2$ [кг/м³] - плотность воды в облаке.

Шаг 40-й. Суммарный атмосферный вклад в виде затухания

$$L_A = A_{0.01\%} + L_{\text{атм}}. \quad (2.74)$$

Для климатических зон Анголы затухание сигнала приближается к $L_{\text{атм}} = 0.13$ дБ [81 – 83].

Шаг 41-й. Затухание сигнала при дожде и максимальные потери на ЛСС записываются следующим образом:

$$L_{\text{св.д}} = 32.4 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) + L_A; \quad (2.75)$$

$$L_{\text{макс.д}} = L_{\text{св.д}} + L_{\text{доп}}, \text{ дБ}. \quad (2.76)$$

по выражению (2.32) и (2.33), получается

$$P_{\text{пр}} = \text{ЭИИМ}_{\text{ср}} + G_{\text{макс}} - L_{\text{макс.д}}, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}.$$

Для модернизации известной методики предлагаем в расчетах в K_u диапазоне учитывать значения $L_{\text{макс.д}}$, потери сигнала из-за дождей и $L_{\text{доп}}$ – характеризующее потери сигнала из-за неточности угла наведения антенны.

Шаг 42-й. Выходная мощность на несущей ЗС; максимальное допустимое отношение несущей к шуму; выходная мощность несущей для цифровых каналов связи; отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума; отношение несущей к суммарной температуре определяются по выражениям (2.21) – (2.24) и имеют вид:

$$C_{\text{д}} = P_{\text{пер}} + G - L_{\text{св.д}}, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.77)$$

$$(C/N)_{\text{д}} = P_{\text{пер.}} + (G/T) - 10 \log_{10}(k \Delta f) - L_{\text{макс.д}}, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.78)$$

$$(C/N_0)_{\text{д}} = (C/N)_{\text{д}} + 10 \log_{10}(\Delta f), \text{ дБ} \cdot \text{Гц}; \quad (2.79)$$

$$(E_b/N_0)_{\text{д}} = (C/N_0)_{\text{д}} - 10 \log_{10}(R), \text{ дБ} \cdot \text{Гц/бит}; \quad (2.80)$$

$$E_{b.\text{д}} = C_{\text{д}} - 10 \log_{10}(R), \text{ дБ} \cdot \text{Дж/бит}; \quad (2.81)$$

$$(C/T)_d = (C/N_0)_d + 10 \lg_{10}(k), \text{ дБ.} \quad (2.82)$$

Для того чтобы разрабатываемая ССС могла работать без взаимных помех с другими сетями, необходимо принимать международный регламент радиосвязи. При этом мощность единичной помехи не должна быть более ($I/N = 6\%$) от общей мощности собственных шумов в системе (в условиях ясного неба, т.е. без учета потерь в осадках) [84]. Величина I/N была принята много лет назад в условиях крайне напряженного энергетического баланса ССС с ГО спутниками, но сейчас выросли мощность СР и чувствительность приемников спутников и ЗС.

Из вышесказанного следует, что оба EUTELSAT спутника в орбитальных позициях 13°E и 16°E соседние по отношению к спутнику «АНГОСАТ» 14.5°E и работают в диапазоне Ku, но только у спутника EUTELSAT 16A (16°E) есть зоны обслуживания в Африке, поэтому он является объектом анализа. Для таких спутников рекомендованное угловое расстояние составляет $2 - 3^\circ$. Проанализировав его рабочие частоты, зоны покрытия и ЭИИМ, получим вывод о том, что для участка «ЗС - СР» по частоте не будет помех, потому что данный транспондер спутника EUTELSAT 16A [85] работает на частоте 10804 МГц, т.е. для телевидения.

Шаг 43-й. Несмотря на это, могут возникать помехи, поэтому вычисление допустимой мощности помехи или отношение мощности полезного сигнала C к мощности помехи I [86 – 88]:

$$(C/I)_{\text{пер.цзс}} = \text{ЭИИМ}_{\text{цзс.П}} + G_{\text{пр.ср.П}} - L_{\text{св.пер.П}} - \left(10 \lg_{10} P_{\text{ум.пер.цзс}} + G_{(\phi) \text{ пер.цзс}} + G_{(\theta) \text{ пр.ср.П}} - L_{\text{св.пер.цзс}} \right) + 10 \lg_{10} \left(\frac{\Delta f_{\text{ш}}}{\Delta f_{\text{ш.П}}} \right), \text{ дБ,} \quad (2.83)$$

где $\text{ЭИИМ}_{\text{цзс.П}}$ – мощность ЗС по влиянию помех; $G_{\text{пр.ср.П}}$ – коэффициент усиления приемного спутника по влиянию помех;

$G_{np.c.p.П} = G_{(θ)np.c.p.П}$; $\Delta f_{ш.П}$ – ширина полосы частот спутника по влиянию помех; ϕ – топоцентрический угол.

Шаг 44-й. Чтобы защищать сети от внешних шумов и помех, необходимо рассмотреть допустимый критерий, C/I которого определяется соотношением [93, 94]:

$$(C/I)_{дон} = (C/N) + 12.2, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}; \quad (2.84)$$

$$(C/I)_{дон.д} = (C/N)_д + 12.2, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}. \quad (2.85)$$

Шаг 45-й. При передаче цифрового сигнала

$$(C/I_0)_{дон} = (C/N_0)_{пер.цзс} + 12.2, \text{ дБ} \cdot \text{Гц}; \quad (2.86)$$

$$(C/I_0)_{дон.д} = (C/N_0)_{пер.цзс.д} + 12.2, \text{ дБ} \cdot \text{Гц}. \quad (2.87)$$

Шаг 46-й. Отношение несущей к шуму под влиянием интенсивности мощности помехи

$$(C/N + I) = C_{пер} - N_{ср} - I_{пер}, \text{ дБ}; \quad (2.88)$$

$$(C/N + I)_д = C_д - N_{ср} - I_{пер}, \text{ дБ}. \quad (2.89)$$

Шаг 47-й. Допустимое отношение несущей к шуму относительно спектральной плотности к мощности к помехи

$$(C/N_0 + I_0) = C_{пер} - N_{0.ср} - I_{0.пер}, \text{ дБ} \cdot \text{Гц}; \quad (2.90)$$

$$(C/N_0 + I_0)_д = C_{пер.д} - N_{0.ср} - I_{0.пер}, \text{ дБ} \cdot \text{Гц}. \quad (2.91)$$

Шаг 48-й. Отношение энергии бита и спектральной плотности к мощности помехи

$$(E_b/N_0 + I_0) = E_{b.пер} - N_{0.пер} - I_{0.пер}, \text{ дБ}; \quad (2.92)$$

$$(E_b/N_0 + I_0)_д = E_{b.д} - N_{0.ср} - I_{0.цзс}, \text{ дБ}. \quad (2.93)$$

Определение характеристик трасс связи от спутника «АНГОСАТ» к ЗС в Ку-диапазоне

По приведенной методике и алгоритму аналогично рассчитываем трассу связи Ку-диапазона от спутника до ЗС (2.28) – (2.93), изменив в

выражении значения рабочей частоты, диаметра раскрыва антенны и других параметров. Далее рассмотрим эти параметры под влиянием дождя.

Шаг 49-й. При дожде шумовая температура антенны, эквивалентная шумовая температура антенны и суммарная шумовая температура определяются по формулам

$$T_{a0..д} = \left(1 - 10^{-0.1(L_{атм} + A_{0.01\%})}\right) T_{атм} + 10^{-0.1(L_{атм} + A_{0.01\%})} T_g, \text{ К}; \quad (2.94)$$

$$T_{\Sigma..д} = T_{a..д} + T_0 \left(10^{F_{ш}/10} - 1\right), \text{ К}. \quad (2.95)$$

Шаг 50-й. Вычисляя возрастание шумов с определенной величиной замираний сигнала при дожде, следует пользоваться следующей формулой:

$$B_{шум} = 10 \log \left(\frac{T_{\Sigma..д}}{T_{\Sigma c}} \right), \text{ дБ}. \quad (2.96)$$

Шаг 51-й. Снижение эффективности ЛСС ТВ вещания, которое происходит при заданном замирании сигнала при дожде, выражается следующей формулой:

$$DND = A_{0.01\%} + 10 \log \left(\frac{T_{\Sigma..д}}{T_{\Sigma}} \right), \text{ дБ}. \quad (2.97)$$

Шаг 52-й. Допустимую мощность помехи примем

$$\begin{aligned} (C/I)_{нр.цзс} = & \text{ЭИИМ}_{ср} + G_{\text{макс.нр.цзс}} - L_{св.пер.ср} \\ & - \left(10 \log_{10} P_{\text{ум.ср.Е}} + \right. \\ & \left. G_{(\theta)ср.Е} + G_{(\theta)нр.цзс} - L_{св.пер.ср.Е} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{\Delta f_{ш.П}}{\Delta f_{ш}} \right), \text{ дБ}, \end{aligned} \quad (2.98)$$

где всем показателям, относящимся к спутнику EUTELSAT 16A, присваивается индекс «Е».

Шаг 53-й. Суммарное допустимое отношение несущей к шуму под влиянием интенсивности мощности помехи

$$(C/N + I)_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{(C/N+I)_{нр}}{10}} + 10^{-\frac{(C/N+I)_{нр}}{10}} \right), \text{ дБ}; \quad (2.99)$$

$$(C/N + I)_{\Sigma, д} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{(C/N+I)_{пер, д}}{10}} + 10^{\frac{(C/N+I)_{пр, д}}{10}} \right), \text{ дБ.} \quad (2.100)$$

Шаг 54-й. Суммарное допустимое отношение сигнал-шум относительно спектральной плотности к мощности помехи:

$$(C/N_0 + I_0)_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{(C/N_0+I_0)_{пер}}{10}} + 10^{\frac{(C/N_0+I_0)_{пр}}{10}} \right), \text{ дБ} \cdot \text{Гц}; \quad (2.101)$$

$$(C/N_0 + I_0)_{\Sigma, д} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{(C/N_0+I_0)_{пер, д}}{10}} + 10^{\frac{(C/N_0+I_0)_{пр, д}}{10}} \right), \text{ дБ} \cdot \text{Гц.} \quad (2.102)$$

Шаг 55-й. Суммарное отношение энергии бита и спектральной плотности к мощности помехи:

$$(E_b/N_0 + I_0)_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{-(E_b/N_0+I_0)_{пер}}{10}} + 10^{\frac{-(E_b/N_0+I_0)_{пр}}{10}} \right), \text{ дБ}; \quad (2.103)$$

$$(E_b/N_0 + I_0)_{\Sigma, д} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{-(E_b/N_0+I_0)_{пер, д}}{10}} + 10^{\frac{-(E_b/N_0+I_0)_{пр, д}}{10}} \right), \text{ дБ.} \quad (2.104)$$

Шаг 56-й. Суммарное допустимое отношение к мощности помехи [41, 80, 83]:

$$(C/I)_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{(C/I)_{пер}}{10}} + 10^{\frac{(C/I)_{пр}}{10}} \right), \text{ дБ.} \quad (2.105)$$

Шаг 57-й. В результате энергетический запас допустимой мощности помехи проектируемой сети вычисляется по формулам

$$M_{мп} = (C/I)_{\Sigma} - (C/N_0) - 12.2, \text{ дБ}; \quad (2.106)$$

$$M_{мп, д} = (C/I)_{\Sigma, д} - (C/N_0)_{д} - 12.2, \text{ дБ.} \quad (2.107)$$

Шаг 58-й. Суммарное отношение несущей к шуму при мощности теплового шума на ЛСС вверх и вниз; суммарное отношение несущей к шуму при спектральной плотности мощности шума; суммарное отношение

энергии бита к спектральной плотности определяются выражениями (3.43)

– (3.44) и имеют следующий вид:

$$(C/N)_{\Sigma,д} = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{(C/N)_{пер.мзс.д}}{10}} + 10^{-\frac{(C/N)_{пр.мзс.д}}{10}} \right), \text{ дБ}; \quad (2.108)$$

$$(C/N_0)_{\Sigma,д} = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{(C/N_0)_{пер.мзс.д}}{10}} + 10^{-\frac{(C/N_0)_{пр.мзс.д}}{10}} \right), \text{ дБ}; \quad (2.109)$$

$$(E_b/N_0)_{\Sigma,д} = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{(E_b/N_0)_{пер.мзс.д}}{10}} + 10^{-\frac{(E_b/N_0)_{пр.мзс.д}}{10}} \right), \text{ дБ}. \quad (2.110)$$

Шаг 59-й. Энергетический запас на общей линии связи [31]

$$M_{\Sigma,CN} = (C/N)_{\Sigma} - (C/N)_{\Sigma,д}, \text{ дБ}; \quad (2.111)$$

$$M_{\Sigma,CN0} = (C/N_0)_{\Sigma} - (C/N_0)_{\Sigma,д}, \text{ дБ}. \quad (2.112)$$

В соответствии с предложенной методикой расчета по выражениям (2.1) – (2.112) [16 – 95] в приложении В приведены результаты требуемого значения параметров ЛСС в зависимости от места расположения ЗС, диаметра раскрыва антенны, рабочей частоты, местных климатических условий и других параметров для ЛСС ЗС, минихаб и VSAT-ЗС. Все вышепредставленные расчеты были выполнены с помощью пакета программного обеспечения МАТКАД.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Чем больше диаметр антенны, тем меньше ширина ДН, но при этом растут потери из-за неточности наведения антенны. Для обеспечения необходимого коэффициента усиления и мощности на выходе ЗС и чтобы не создавать помехи другим спутникам, угол неточности наведения антенны должен строго соответствовать предложенным условиям:

$$\theta_{\text{ЗдБ.пер.мзс}}/1.8 \leq \theta_n \leq \theta_{\text{ЗдБ.пер.мзс}}/3 \text{ диапазон С, } \theta_{\text{ЗдБ.пер.мзс}}/1.3 \leq \theta_n \leq \theta_{\text{ЗдБ.пер.мзс}}/1.8 \text{ диапазон Ku и}$$

$$\theta_{\text{ЗдБ.пер.мзс}}/1.1 \leq \theta_n \leq \theta_{\text{ЗдБ.пер.мзс}}/7.9 \text{ для VSAT, что обеспечит погрешность угла}$$

неточности наведения между ЗС и СР не более 0.2° . В результате проведенных расчетов определен приемлемый угол наведения антенны ЗС на спутник связи «АНГОСАТ», который составил $\theta_n = 0.187 - 0.2^\circ$. Связь диаметра антенны и угла неточности наведения приемопередатчиком антенны представлены на рисунке 2.5. Например, в г. Луанда из-за потери неточности наведения коэффициент усиления потеряет 4 дБ ЛСС вверх и 0.7 дБ вниз.

2. От неточности наведения антенны снижается мощность передаваемого сигнала, но в зависимости от рабочей частоты и диаметра антенны максимальный коэффициент усиления может компенсировать снижение мощности.

3. Полученные значения плотности потока мощности показывают, что затраты на разработку ЛСС минимальны. Например, для VSAT при $(G - T) = 16.8$ дБ/К необходимо обеспечить плотность потока мощности на - 112.8 дБ·Вт/м² и это является оптимальным для заданной зоны обслуживания.

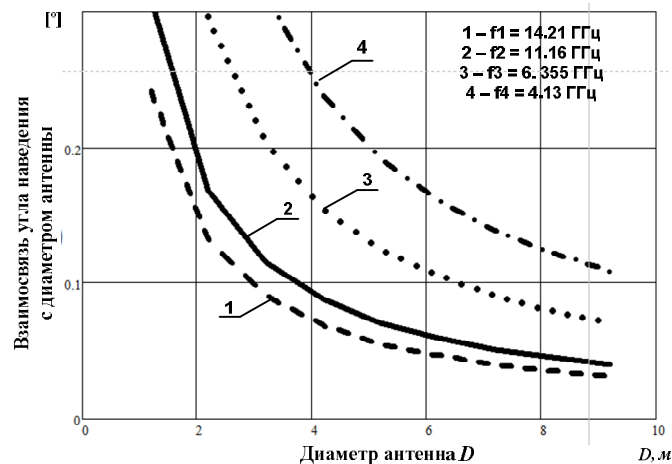


Рисунок. 2.5. Взаимосвязь угла наведения с диаметром антенны

На рисунке 2.6 представлена необходимая плотность потока мощности ЗС при фиксированной частоте и при изменении диаметра раскрытия антенны 5.3 – 9 м С и Ku-диапазонов соответственно. Предложенные

значения являются оптимальными на приемнике СР и соответствуют с рекомендованным МСЭ-R [37] для используемого спутника (см. табл. 2.1).

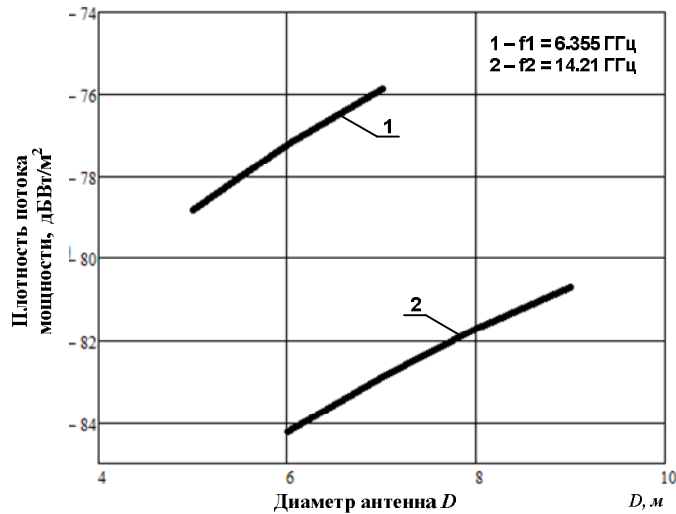


Рисунок. 2.6. Плотность потока мощности ЗС

4. При повышении потерь в АФТ на 0.1 дБ шумовая температура на приемнике может возрасть до 7К. Значение отношения мощности полезного сигнала C к мощности помехи I (C/I) показывает, что допустимая помеха не утверждается единственным критерием МСЭ-R $I/N = 6\%$, она будет разной для сетей с разным C/N . Это объясняется тем, что расстояние между спутником меньше 2° . Полученное в расчете C/I это то, что рекомендуется для разрабатываемой сети.

5. При ослаблении сигнала из-за дождей снижается отношение мощности несущей к тепловому шуму, отношение мощности несущей к спектральной плотности мощности шума и отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума. Для ЛСС VSAT между г. Луанда и г. Зайре (табл. 2.15) среднее значение интенсивности дождя оказалось порядка 63 – 108 мм/ч, при этом ослабление колеблется от 12.93 до 19.56 дБ. Так, суммарное отношение энергии бита к спектральной плотности снижается от 17.51 до 4.45 дБ и вероятность ошибки составляет 2.97×10^{-7} .

6. Результат подтверждает, что в случае сильного дождя в некоторых городах благодаря выбранным и предложенным входным данным

передатчик и приемник ЗС могут обеспечивать работу канала бесперебойно. Несмотря на это при $L_{св.д} > 250$ из-за ослабления дождями расчет показал, что значение отношения энергии бита к спектральной плотности может снижаться до -0.5 дБ.

7. Чтобы бороться с этим, снижают скорость передачи, но эффективность использования полосы пропускания тоже снижалась, и мы считаем, что это негативный шаг, поскольку ЦЗС необходимо использовать максимальную ширину доступной полосы. Например, для г. Зайре и г. Южная Лунда при фиксированном виде модуляции и демодуляции и значении интенсивности дождя 63 – 130 мм/ч и чтобы отношение энергии бита к спектральной плотности шума было больше нуля, необходимо снижать скорость передачи на 10 Мбит/с, что считаем нормально для сети VSAT, но для ТВ-вещания и других видов услуг неприемлемо.

8. Чтобы устранить недостатки для города с большой интенсивностью дождей, необходимо использовать более сложные виды модуляции с технологией адаптированного кодирования и модуляция (ACM), которая позволяет использовать запас на ослабление сигнала для повышения пропускной способности канала связи в зависимости от климатических условий, и это достигается за счет автоматического выбора сочетания типа модуляции и скорости кода. Использовать ACM для ЛСС Е1 не рекомендуем, поскольку скорость передачи является постоянной и составляет 2048 кбит/с.

9. Для Ku-диапазона не рекомендуется проводить расчет на всю полосу частот СР, потому что для этого надо увеличивать скорость передачи, что снижает отношение энергии бита к спектральной плотности, и сигнал будет подавлен под влиянием дождя. Иными словами, основные ограничения на разработку ЛСС определяют параметры канала "земля-спутник".

10. Снижение эффективности ЛСС вниз будет в пределах от 9 до 17 дБ. Например, для г. Зайре из-за влияния внешних видов шумов и ослабления сигнала из-за дождя до 14.2 дБ равно 16.6 дБ, т.е. в условиях ясного неба она может снижаться до 85.5%. При расчете становится очевидным, что в разных провинциях Республики Ангола гидрометеоры могут по-разному влиять на качество передачи информации по ЛСС, особенно на минихаб в городах Южная Лунда и Зайре.

11. Из сравнения четырех провинций следует, что если интенсивность дождя большая, тогда требуются значительные энергетические запасы, поскольку атмосферные потери крайне разнообразны и их влияние увеличивается с частотой. Несмотря на это для ЛСС VSAT в Ku диапазоне по расчету был получен самый минимальный энергетический запас, равный 0.26 дБ, которым можно пренебречь. Но это объясняется тем, что на приемнике использована антенна диаметром 1.2 м, при этом ширина диаграммы направленности увеличивается и компенсирует потери из-за неточности наведения антенны. Следовательно, для трассы г. Южная Лунда – г. Луанда необходимо выделить энергетический запас на 15.57 дБ, который для страны является самым большим.

12. Для С-диапазона энергетический запас равен 0.7 – 1.5 дБ, для Ku-диапазона при ясном небе – 0.25 – 7.17 дБ и под влиянием дождя 12 – 19.43 дБ. Отметим, что для всех ЛСС в полосе частот С из-за малого ослабления сигнала предложено проектировать систему всего лишь с 1.5 дБ энергетического запаса, это будет снижать ограничения на используемое оборудование.

13. Для расчета $\Delta(C/N)$ по прогнозу выбран худший день в отношении увеличения солнечной шумовой температуры на ЗС, который был 24.03.2014 в 13 ч 20 мин 21 с. Кроме этого расчет $\Delta(C/N)$ подтверждает, что

негативный эффект из-за увеличения $\Delta T_{п.пр.цзс}$ на качество ЛСС будет минимальным и это объясняется тем, что ширина главного лепестка диаграммы направленности по уровню 3дБ больше, чем диаметр Солнца в направлении от Земли к спутнику. При этом во время увеличения солнечной шумовой температуры ЛСС будет работать бесперебойно. Например, для антенны диаметром раскрыва 1.2 и 2.4 VSAT общая продолжительность времени влияния Солнца на ЗС 33 мин и 9 мин соответственно, а ухудшение отношения несущей к шуму из-за солнечной температуры 6.88 дБ и 18.97 дБ соответственно.

2.4. Расчет замираний сигнала на линиях спутниковой связи Республики Ангола

В каналах спутниковой связи часто наблюдаются замирания сигналов, которые существенно затрудняют прием информации. Замирания представляют собой случайные изменения амплитуды и фазы принимаемых сигналов и обусловлены случайными изменениями напряженности электромагнитного поля в точке приема, возникающими по разным причинам.

Наиболее часто причиной возникновения замираний на линиях спутниковой связи является ослабление сигнала гидрометеорами и случайные изменения характеристик среды распространения сигналов [89 – 91]. На практике замирания сигналов постоянно присутствуют в радиоканалах с отражением от слоев ионосферы, с ионосферным рассеянием или с отражением от следов метеоров. Наблюдаются замирания в радиоканалах с тропосферным рассеянием, в локационных и связных радиоканалах с отражением от геометрически сложных объектов с множеством «блестящих точек», в каналах подвижной радиосвязи при наличии переотражений от объектов на линии связи [91].

Учет влияния замираний – важный фактор при анализе эффективности канала спутниковой связи, поскольку для обеспечения определенного качества и надежности передачи информации должны быть известны ослабление сигнала гидрометеорами и вероятности возникновения замираний определенной длительности.

При разработке сети спутниковой связи требуется определить и оценить параметры ЗС. Одним из важных параметров является уровень ослабления сигнала гидрометеорами и вероятность возникновения таких замираний, которые могут негативно повлиять на качество передаваемой информации от ЗС к транспондеру спутника и наоборот. В настоящей диссертационной работе, во-первых, сделана оценка замираний и вероятности их возникновения, во-вторых, рассчитан необходимый энергетический запас на замирания ЗС ЛСС между наземными станциями спутниковой информационной сети Республики Ангола и спутником «АНГОСАТ».

В табл. 2.7 представлены климатические параметры и среднегодовая интенсивность дождевых осадков ($R_{0.01\%}$) для городов республики, расположенных в разных климатических зонах. Параметры опубликованы в работах [2, 91] и требуются для определения длительности замираний и их вероятности на основании этих данных и были проведены расчеты замираний.

Таблица 2.7. Параметры трасс

Номера и местоположение	Климат	Средн. макс. температур, °C/Г	$R_{0.01\%}$, мм/ч	Шир./Долг, град	d , км	Y_m°	f , ГГц
1 – г. Луанда	Сухой тропический	28.75	63.92	08.51/13.11	35869	79.9 1	14.21 гор
2 – г. Бенгела	Сухой тропический	27	51.82	12.42/13.24	35961	75.3 3	14.04 верт
3 – г. Южная Лунда	Влажный тропический	29	129.66	09.41/20.37	35925	76.9 8	14.125 верт

Окончание табл.2.7

Номера и местоположение	Климат	Средн. макс. температур, °C/Г	$R_{0.01\%}$, мм/ч	Шир./Долг, град	d , км	Y_m°	f , ГГц
4 – г. Зайре	Влажный тропический	28	108.03	06.19/12.32	35835	82.2 8	14.21 верт
5 – г. Куандо Кубанго	Сухой тропический	27	110.84	14.44/17.40	36031	72.7 1	14.04 верт
6 – г. Бие	Тропическая высота	25	132.14	12.23/17.1	35963	75.3 1	14.04 гор
7 – г. Намибе	Сухой тропический	25	39.75	15.12/12.13	36051	72.0 3	14.21 гор

Для расчета выбираем провинции показанные в табл. 2.8. Полученные на основании выражений (2.56) – (2.66) результаты расчетов представлены в табл. 2.8. 7 станций ССС, а не 4, выбираем с учетом дальнейшего расширения ССС страны.

Таблица 2.8. Расчет ослабления сигнала

Местоположение	h_0 , км	h_R , км	h_s , км	L_s , км	L_G , км	γ_R , дБ/км	$r_{0.01}$	L_R , км	$\nu_{0.01}$	L_E , км	$A_{0.01\%}$, дБ
1 – г. Луанда	3.3	3.66	0.04727	3.67	0.64	3.83	0.95	3.67	0.92	3.38	12.93
2 – г. Бенгела	3.2	3.56	0.31056	3.36	0.85	3.01	0.98	3.36	0.97	3.26	9.81
Местоположение	h_0 , км	h_R , км	h_s , км	L_s , км	L_G , км	γ_R , дБ/км	$r_{0.01}$	L_R , км	$\nu_{0.01}$	L_E , км	$A_{0.01\%}$, дБ
3 – г. Южная Лунда	3.33	3.69	1.0543	2.71	0.61	8.25	0.83	2.71	0.85	2.3	18.97

Окончание табл. 2.8

Местоположение	h_0 , км	h_R , км	h_s , км	L_s , км	L_G , км	γ_R , дБ/км	$r_{0.01}$	L_R , км	$\nu_{0.01}$	L_E , км	$A_{0.01\%}$, дБ
4 – г. Зайре	3.35	3.71	0.137	3.61	0.48	6.78	0.88	3.61	0.8	2.88	19.56
5 – г. Куандо Кубанго	3.15	3.51	1.35	2.26	0.67	6.91	0.86	2.26	0.87	2.01	13.91
6 – г. Бие	3.25	3.61	1.645	2.03	0.52	8.55	0.84	2.03	0.85	1.73	14.83
7 – г. Намибе	3.1	3.46	0.0075	3.63	1.12	2.28	1.01	3.63	1.02	3.72	8.48

Вероятность длительности замирания

Для спутниковых линий, работающих на частоте выше 10 ГГц, статистика длительности замираний и вероятность их возникновения могут быть рассчитаны в зависимости от рабочей частоты, угла места и порога уровня замираний. С помощью метода прогнозирования определим

статистику длительности замираний, обусловленных затуханием сигнала в следствие дождя для двух функций распределения, т. е. для вероятности возникновения замирания P и вероятности превышения порога F [92 – 95]:

Средняя длительность N логарифмически нормального распределения замираний

$$N = 80 Y_{\text{м}}^{-0.4} f^{1.4} A_{0.01\%}^{-0.39}, \text{ с.} \quad (2.113)$$

Стандартное отклонение логарифмически нормального распределения замираний

$$\sigma = 1.85 f^{-0.05} A_{0.01\%}^{-0.027}. \quad (2.114)$$

Показатель степенной функции распределения замираний

$$\gamma = 0.055 f^{0.65} A_{0.01\%}^{-0.003} \quad (2.115)$$

Граница между длительностями замираний

$$J = N e^{p_1 \sigma^2 + p_2 \sigma - 0.39}, \text{ с,} \quad (2.116)$$

где

$$p_1 = 0.885\gamma - 0.814; \quad (2.117)$$

$$p_2 = -1.05\gamma^2 + 2.23\gamma - 1.61. \quad (2.118)$$

Средняя длительность W логарифмически нормального распределения вероятности возникновения замираний большой длительности

$$W = N e^{-\sigma^2}, \text{ с.} \quad (2.119)$$

Рассчитываем долю времени k , связанную с замираниями длительностью меньше, чем J :

$$k = \left[1 + \frac{\sqrt{NW} (1 - \gamma) Q\left(\frac{\ln(J) - \ln(N)}{\sigma}\right)}{J\gamma Q\left(\frac{\ln(J) - \ln(W)}{\sigma}\right)} \right]^{-1}; \quad (2.120)$$

$$Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \quad (2.121)$$

где Q –интегральная функция распределения для нормально распределенной переменной.

Для ЛСС замирания длительностью менее 10 с не вносят значительного вклада в общее время нарушения связи. Поэтому особый интерес представляют замирания длительностью больше 10 с. В соответствии с выражением (2.116), расчеты проведем для длительности замираний $10 \leq V \leq 360$ с.

Вероятность возникновения событий замираний определим как

$$\text{Для } 10 \leq V \leq J \quad P(Z > V | a > A_{0.01\%}) = J^\gamma. \quad (2.122)$$

где Z и a – границы заданного порога.

Интегральная функция вероятности или общая доля замираний

$$\text{Для } 10 \leq V \leq J \quad F(Z > V | a > A_{0.01\%}) = \left[1 - k \left(\frac{V}{J} \right)^{1-\gamma} \right]. \quad (2.124)$$

$$\text{Для } V > J \quad F(Z > V | a > A_{0.01\%}) = (1 - k) \frac{Q\left(\frac{\ln(V) - \ln(N)}{\sigma}\right)}{Q\left(\frac{\ln(J) - \ln(N)}{\sigma}\right)}. \quad (2.11145)$$

Число событий замираний можно рассчитать по выражению

$$N(V, A_{0.01\%}) = B(Z > V | a > A_{0.01\%}) \cdot T_{tot}(A_{0.01\%}) \cdot \frac{k}{\gamma} \cdot \frac{1-\gamma}{J^{1-\gamma}}, \quad (2.126)$$

где $T_{tot}(A_{0.01\%}) \approx 86400$ с – предложенное суммарное время наблюдения замираний на трассе связи.

Результаты расчета по выражениям (2.113) – (2.119) сведем в табл. 2.9.

Таблица 2.9. Расчет длительности замираний

Местоположение земных станций	N, c	σ	γ	J, c	W, c
1 – г. Луанда	209.97	1.51	0.31	8.72	21.35
2 – г. Бенгела	235.43	1.52	0.3	9.37	23.07
3 – г. Южная Лунда	182	1.5	0.3	7.82	19.37
4 – г. Заире	176.6	1.5	0.31	7.66	18.89
5 – г. Куандо Кубанго	210.23	1.51	0.3	8.66	21.45
6 – г. Бие	200.41	1.51	0.3	8.34	20.67
7 – г. Намибе	258.1	1.53	0.31	10.25	24.89

Результаты расчетов по выражениям (2.120) – (2.126) представлены на рисунке 2.7 – 2.9, где показаны графики вероятности возникновения замираний и интегральная функция вероятности в зависимости от длительности замираний при $V > J$, где $10 \leq V \leq 360 c$ для всех семи линий связи, пронумерованных для ЗС Республики Ангола соответственно.

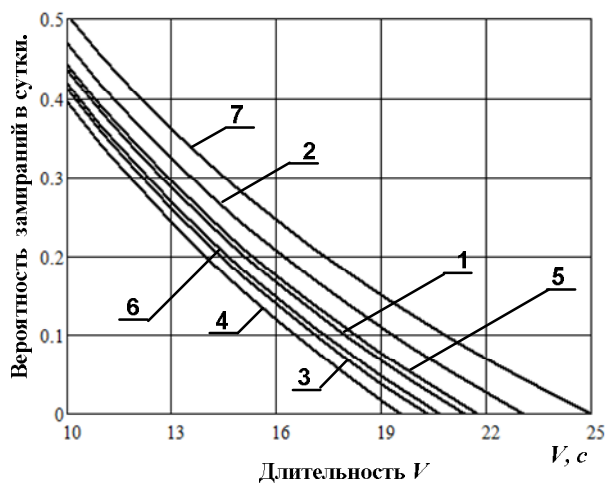


Рисунок. 2.7. Вероятность возникновения замираний

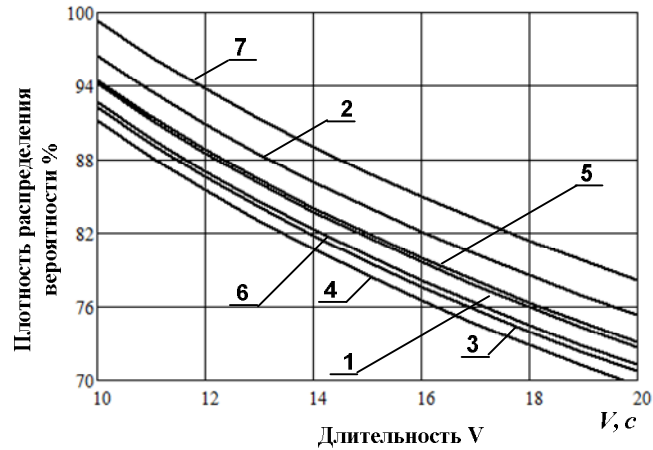


Рисунок. 2.8. Плотность распределения вероятности

На рисунке 2.8 показана рассчитанная зависимость числа замираний от их длительности при $V > J$, $10 \leq V \leq 60$ с.

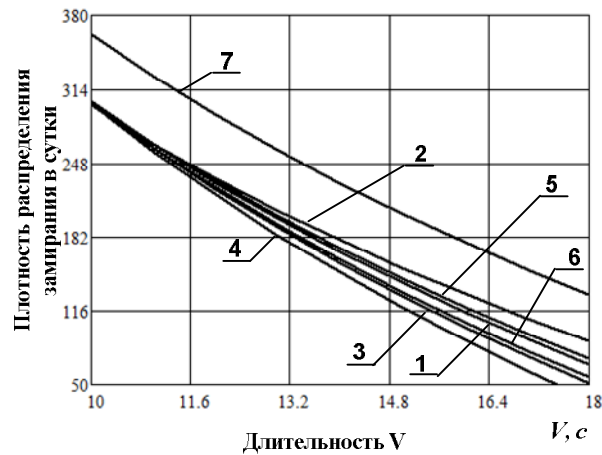


Рисунок. 2.9. Плотность распределения замираний

Из рисунка 2.9 становится очевидным, что в разных провинциях Республики Ангола гидрометеоры могут существенно влиять на качество передачи информации по ЛСС, особенно на наземной станции в г. Намибе.

Результаты расчетов, приведенные на рисунках 2.7 – 2.9, показывают, что вероятность глубоких замираний $B(Z > V | a > A_{0.01\%})$ и их интегральная функция $F(Z > V | a > A_{0.01\%})$ приближены к логарифмически-нормальному распределению, а количество глубоких замираний сигнала с ростом длительности быстро уменьшается.

Из данных, представленных в табл. 2.7, следует, что рассчитанные значения $A_{0.01\%}$ обеспечивают среднегодовую качественную передачу информации в 99.99 % времени года при дополнительном увеличении энергопотенциала ЗС на величину от 8,5 до 19,6 дБ на разных станциях. Например, в г. Луанда для борьбы с ослаблением сигнала из-за дождей необходимо обеспечить энергетический запас на 12.93 дБ. В г. Намибе будет наименьшее ослабление сигнала, в г. Зайре будет наоборот. Другими словами, из-за большой интенсивности дождей в этой части страны в г. Зайре нужен большой энергетический запас.

Из рисунка 2.8 следует, что с ростом длительности замираний уменьшается их вероятность $P(Z > V | a > A_{0.01\%})$. Чем ниже $A_{0.01\%}$, тем больше вероятность возникновения замираний. Например, для г. Намибе уменьшение угла места ЗС может увеличить вероятность замираний. Несмотря на большую интенсивность дождей в г. Зайре, угол места ЗС компенсирует рост вероятности возникновения замираний. На рисунке 2.9 показано количество замираний в сутки с определенной длительностью и соответственно затуханием $A_{0.01\%}$ (см. табл. 2.17). При увеличении значения $A_{0.01\%}$ снижается число глубоких замираний. Таким образом, для большинства ЗС страны появление замираний длительностью 10 с среднее число не превышает 314 событий, но замирания, длящиеся 10 с и менее, тоже влияют на нарушение связи. Расчеты показывают, что при фиксированной частоте при изменении места расположения ЗС количество глубоких замираний может сильно меняться.

Если интенсивность дождя большая, то время выпадения дождя с такой интенсивностью будет коротким, а это будет влиять на длительность замираний.

Из сравнения семи провинций следует, что наиболее неблагоприятными с точки зрения необходимого запаса энергопотенциала

является ЗС в г. Зайре, а по вероятности появления глубоких замираний ЗС – в г. Намибе. Хотя в г. Зайре оказались высокими значения $R_{0.01\%}$ и $A_{0.01\%}$, расчеты показали, что угол места ЗС компенсирует количество длительных замираний.

2.5. Исследование путей реализации цифрового телевидения на основе спутника «АНГОСАТ»

С помощью технологии непосредственного телевизионного вещания (НТВ) и спутниковой связи в Республике Ангола существует быстрый переход к цифровому ТВ вещанию DVB – S2/ACM (стандарт вещания цифрового спутникового телевидения). Стандарт представляет собой технические характеристики второго поколения для приложений спутниковой широкополосной связи [96]. Однако цель разработки спутника «АНГОСАТ» – представление телекоммуникационных услуг, поэтому рассмотрен вид модуляции, который не только обеспечивает передачу большого количества телефонных каналов и имеет достаточное отношение сигнал-шум, но также учитывает потребление энергии спутником.

Для исследования в качестве места приема сигнала выбран город Луанда, Республика Ангола (8.48°ю, 13.16°вд). Будет использован спутник «АНГОСАТ», находящийся в позиции 14.5°вд Ку-диапазона 10.7 – 12.5 ГГц. Полоса пропускания транспондера составляет 36 – 72 МГц при использовании стандарта цифрового ТВ вещания (MPEG – 4 или H.264). Рассмотрено три вида модуляции QPSK, 8-PSK и 16-PSK. Скорость передачи видеосигнала для телевидения высокой четкости (HDTV – 720p) не меньше 10.2 Мбит/с, а для телевидения стандартной четкости (SDTV – 480p) не меньше 2.6 Мбит/с [96 – 100]. Дополнительно нужно проверить при использовании спутника «АНГОСАТ» влияния климатических условий Республики, оценить уровень сигнала на входном малошумящем усилителе.

Для оценки количества передаваемых каналов необходимо выполнить подробный расчет, как это было описано в предложенных методике и алгоритме расчета ЛСС. Для расчета ТВ вещания использованы формулы (2.1) – (2.14). Кроме этого необходимо рассчитать другие параметры, в соответствии с формулами, представленными в работах [28, 101], то есть дописать разработанный алгоритм следующими шагами:

Шаг 60-й. Частичная проницаемость среды связана с затуханием $L_{\text{атф.тв}}$ простым соотношением

$$\rho = 10 \log_{10} 10^{-0.1 L_{\text{атф}}}, \text{ дБ.} \quad (2.127)$$

Шаг 61-й. Эффективная площадь раскрыва антенны приемника

$$S_{\text{пр}} = 10 \log [\pi (D/2)^2 K_u], \text{ м}^2. \quad (2.128)$$

Шаг 62-й. Для вычисления общей шумовой температуры приемной системы необходимо преобразовать общий шум-фактор приемника в эквивалентную шумовую температуру при помощи следующего выражения:

$$T_{\text{мшу}} = 290(10^{F_w/10}), \text{ К.} \quad (2.129)$$

Шаг 63-й. Общая шумовая температура приемной спутниковой НТВ системы определяется по формулам

$$T_{\Sigma.\text{тв}} = T_{\text{мшу}} + (1 - \sigma) T_c + \rho T_{\text{ант}}, \text{ К;} \quad (2.130)$$

$$T_{\Sigma.\text{тв.д}} = T_{\text{мшу}} + (1 - \sigma_{\text{тв}}) T_c + \rho T_{\text{ант}}, \text{ К,} \quad (2.131)$$

где $T_{\text{с.тв}}$ – физическая температура переходных (волноводных) компонентов, К; $T_{\text{мшу.тв}}$ – эквивалентная шумовая температура блока малошумящего усилителя, К.

Шаг 64-й. Номинальный и используемый коэффициент добротности выражается следующим образом [102]:

$$(G/T)_{\text{ТВ}} = 10 \log \left[\frac{10^{0.1(G_{\text{макс}} + \alpha)}}{T_{\Sigma, \text{ТВ}}} \right], \text{ дБ} \cdot \text{К}^{-1}; \quad (2.132)$$

$$(G/T)_{\text{ТВ.д}} = 10 \log \left[\frac{10^{0.1(G_{\text{макс}} + \alpha + L_{\text{оп}})}}{T_{\Sigma, \text{ТВ.д}}} \right], \text{ дБ} \cdot \text{К}^{-1}, \quad (2.133)$$

где α – переходные потери, создаваемые компонентами волновода, дБ.

Шаг 65-й. Отношение количества энергии в бите к плотности потока мощности шумов определим по формулам [102]

$$(E_b/N_0)_{\text{ТВ}} = (C/N)_{\text{ТВ}} + 10 \log_{10}(1/R_{\text{ТВ}}) + 10 \log_{10}(\Delta f_{\text{ш.ТВ}}), \text{ дБ}; \quad (2.134)$$

$$(E_b/N_0)_{\text{ТВ.д}} = (C/N)_{\text{ТВ.д}} + 10 \log_{10}(1/R_{\text{ТВ}}) + 10 \log_{10}(\Delta f_{\text{ш.ТВ}}), \text{ дБ}. \quad (2.135)$$

Шаг 66-й. Расходимость луча приемника антенны

$$L_s = (10 \log(4\pi D^2)) \cdot 1000, \text{ дБ} \cdot \text{м}^2. \quad (2.136)$$

Шаг 67-й. Мощность сигнала несущей на выходе малошумящего усилителя вычисляется при помощи выражения

$$C_{\text{ТВ}} = \text{ЭИИМ}_{\text{ср}} - L_s + S_{\text{нр}} + G_{\text{макс}} - \alpha - L_{\text{дон}} - L_A, \text{ дБ} \cdot \text{Вт}. \quad (2.137)$$

Шаг 68-й. Уровень сигнала на малошумящий усилитель рассмотрен для худшего случая, т.е. при ослаблении сигнала в осадках, и определяется по формуле

$$V_{\text{ТВ}} = \sqrt{10^{0.1C_{\text{ТВ}}} \cdot R}, \text{ В}, \quad (2.138)$$

где R – входное сопротивление системы, Ом (используем 75 Ом).

Преобразуем уровень сигнала с помощью выражения

$$VB_{\text{ТВ}} = 20 \log(V_{\text{ТВ}}/10^{-6}), \text{ дБ} \cdot \text{мкВ}. \quad (2.139)$$

Стоит отметить, что для данного отношения $R_{\text{ТВ}}$ к (E_b/N_0) минимальные допустимые значения (E_b/N_0) , составляющие около 8 дБ, являются типичными для большинства телепрограмм DVB, т.е. если выше – возможен прием сигнала без ошибок, а ниже – прием невозможен.

Полученные на основании выражений (2.1) – (2.14) и (2.127) – (2.139) результаты исследований и расчетов представлены в табл. 2.10.

Таблица 2.10. Расчет ЛСС ТВ-приемник

Сокр.	Входной параметр спутника	ЛСС вверх	ЛСС вниз	Единица измерения
γ	Долгота подспутниковой точки	14.5 в.т.	14.5 в.т.	град
$L_{\text{пол}}$	Потери из-за несогласованности поляризации антенн	0.07	0.07	дБ
T_{Σ}	Суммарная шумовая температура приемного тракта СР	501.18		°К
Δf	Полоса пропускания канала СР	72	72	МГц
ЭИИМ	Эквивалентная изотропно излучаемая мощность		49.29	дБ · Вт
$(G - T)$	Добротность	-6		дБ/К
Входной параметр ЗС				
ξ	Широта ЗС	8.5 13.33 35786 6378 8.5 0.6 12700 70 30		град
δ	Долгота ЗС			град
r	Расстояние до геостационарной орбиты			км
R	Радиус Земли			км
D	Диаметр антенны			м
f	Рабочая частота			МГц
k_u	Коэффициент использования поверхности антенны			%
R_b	Скорость передачи информации			Мбит/с

Продолжение табл 2.10

Входной параметр ЗС				
	FEC	7/8		
	модуляция	16QPSK		
Сокр.	Расчет разработанной ЛСС в С-диапазон	ЛСС вверх	ЛСС вниз «поглощение вследствие дождя»	Едини ца измере ния
d	Расстояние ЗС - СР, СР - ЗС	35868	35868	км
γ_m°	Угол места ЗС и спутником	79.90	75.3	град
$\theta_{3дБ}^\circ$	Ширина диаграммы направленности антенны	2.756	2.756	град
$G_{\max}$	Максимальный коэффициент усиления	36.49	36.49	дБ
	Суммарный атмосферный вклад в виде затухания	7.25	7.25	дБ
$L_{св}$	Затухание сигнала в свободном пространстве	205.57	212.82	дБ
θ	Угол неточности наведения антенны	0.2		дБ
$L_{ор}$	Потери из-за неточности наведения антенны	0.063		дБ
$L_{доп}$	Суммарные дополнительные потери	3.77		дБ
$L_{\max}$	Максимальные потери	0.133		дБ
G	Коэффициент усиления антенны	36.42		дБ
σ	Частичная проницаемость среды	0.966		дБ
S	Эффективная площадь покрытия ЗС	-7.03		дБ · м ²
$F_{ш}$	Общий шум LNB	119.64		К
T_{a0}	Шумовая температура	27	219.67	К
T_a	Эквивалентная шумовая температура антенны	55.64	243.93	К

Окончание табл. 2.10

Сокр.	Расчет разработанной ЛСС в С-диапазон	ЛСС вверх	ЛСС вниз «поглощение вследствие дождя»	Едини ца измере ния
T_{Σ}	Суммарная шумовая температура приемного тракта	183.23	365.13	К
$B_{\text{шум}}$	Возрастание шумов	2.99 9.83		дБ
DND	Снижение эффективности ЛСС			дБ
C	Мощность полезного сигнала	-83.78	-91.03	дБ
$(G - T)$	Добротность домашнего приемника	13.56	10.5	дБ/К
$(C - N)$	Отношение мощности несущей к шуму сигнала с тепловым шумом	13.19	2.88	дБ · Вт
R_c	Скорости символ	13.3	13.3	Мбод/с
Δf	Занятая ширина полосы	18	18	МГц
$(E_b - N_0)$	Отношение энергии бит к спектральной мощности шума	10.97	0.67	дБ
$YB_{\text{тв}}$	Уровень выходного сигнала на малошумящий усилитель	54.97	47.72	дБ · мкВ
M	Энергетический запас линии связи	0.133	0.133	дБ
G	Спектральная эффективность	2.53	2.53	бит с ⁻¹ · Гц

Необходимо отметить, что соответствующее снижение эффективности на линии связи вниз значительно выше из-за внешних шумов и возрастающей величины замираний сигнала вследствие дождя (порядка 7.25 дБ).

В табл. 2.10 из-за ослабления сигнала вследствие дождя и увеличения дополнительного теплового шума $(G - T)$ добротность домашнего приемника уменьшается от 13.56 до 10.5 дБ/К, приемник показывает

дополнительное ухудшение качества. При этом получается отношение энергии бита к спектральной мощности шума 10.97 дБ.

Выводы

1. Предложенная методика, обеспечила расчеты всех параметров ЛСС и с ее помощью можно увидеть, как взаимодействуют различные параметры и понять значение каждого.

2. На основании предложенной методики составлены алгоритм и программа на ЭВМ для выполнения вычислений всех необходимых значений параметров ЛСС.

3. Для спутника «АНГОСАТ» определены максимальный коэффициент усиления ЗС, угол неточности наведения антенны, необходимая для передачи мощность, добротность и другие параметры. Из рассчитанного энергетического запаса канала связи можно узнать, как система соответствует поставленным требованиям и очевидными становятся все ограничения и возможности их компенсации за счет других входных и выходных параметров разработанной ЛСС, а также оценка их взаимозависимости. Разработка показала, что все рассчитанные параметры соответствуют рекомендованным для используемого спутника.

4. Из проведенного анализа и полученных в работе результатов можно констатировать, что номинальные значения параметров спутника «АНГОСАТ» соответствуют необходимым для разработки ЛСС.

5. Используемые в расчете диапазоны частоты не приводят к помехам для других ЗС в Республике Ангола. Так, выбран метод модуляции, обеспечивающий эффективность использования полосы пропускания от 1.2 до 2.53 бит $\text{с}^{-1} \cdot \text{Гц}$ и вероятность возникновения ошибки при этом до 10^{-13} (приложение 4).

6. По полученным результатам в Ку-диапазоне параметры (C/I) при проектировании ССС или разработке ЛСС рекомендовано приводить в соответствие со спутником «INTELSAT» работающим в орбитальной позиции 16°Е.

7. Определено среднегодовое количество длительных замираний сигнала из-за дождей, которые приводят к ухудшению качества передачи информации. Из расчетов видно, что для ЗС провинций Южная Лунда и Заире требуется меньший энергетический запас на замирания. Полученные в работе результаты дают возможность оценить влияние замираний и вероятность их возникновения на трассе спутниковой связи для выбранного города, а также оценить число возможных глубоких замираний. При расчете ЛСС необходимо учитывать запас энергопотенциала на эти замирания и предпринять дополнительные меры для уменьшения их количества. Основные операторы спутниковой связи используют энергетический запас на замирания от гидрометеоров в 7 дБ, но для климатических условий Республики Ангола он должно составлен не менее 12 дБ. По полученным данным во всех городах значения $A_{0,01\%}$, дБ при горизонтальной поляризации на 10 – 15 % больше, чем при вертикальной.

8. При модуляции 16QPSK и скорости передачи 30 Мбит/с занимает полосу около 18 МГц. Согласно энергии потребления спутника «АНГОСАТ» [33] предполагается, что в 18 МГц можно принимать до 3 программ стандарта HDTV либо 10 программ стандарта SDTV. По полученным результатам уровень сигнала на малошумящий усилитель составляет порядка 47 – 55 дБ · мкВ.

9. Результаты, полученные в данной работе, можно использовать в качестве практических ориентиров для разработчиков ЛСС для городов Республики Ангола.

ГЛАВА 3. РЕАЛИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ РЕСПУБЛИКИ АНГОЛА

3.1. Разработка структуры взаимосвязанной инфотелекоммуникационной сети для Республики Ангола

В диссертационной работе рассмотрено построение национальной ССС на базе ФСС (рис. 1.7). При этом понятие национальной спутниковой информационной сети Республики Ангола состоит в том, что любой абонент проектируемой сети может связаться с любым абонентом телефонной сети общего пользования (ТФОП) взаимосвязанной системы связи страны, а также с любым другим абонентом системы, находящимся в Республике Ангола [104].

Для того, чтобы построить ССС предлагаем два основных подхода к решению указанной задачи [8, 105]:

Первый подход состоит в том, чтобы сначала модернизировать существующие ССС Республики Ангола и присоединить их к сетям, соединяющим автоматические сети ТФОП и наземные сети имеющих магистральных каналов волоконно–оптической сети.

▪ Второй подход заключается в полностью новой разработке спутниковой информационной сети, а затем присоединения к ней других сетей Республики Ангола.

У каждого из перечисленных выше подходов имеются определенные ограничения. Первый подход кажется экономически выгодным, потому что не требует запуска спутника и разработки новой инфраструктуры сети, но с другой стороны существующие сети работают не эффективно, потому что в свое время были спроектированы для решения конкретных задач, связанных с гражданской войной и нефтяной деятельностью. Для модернизации подобных сетей необходимы значительные ресурсы и время. Второй подход кажется экономически не выгодным потому, что требуется

разработка новой ССС, но при этом государство вернет себе роль управляющего объединенного центра, как примерно в России и в других странах мира, где у государства есть своя национальная ССС.

Поэтому речь должна идти не о каком-то одном подходе, а значит необходимо найти решение которое очевидно лежит на пути сочетания обоих подходов. Такое сочетание может заключаться в следующем:

- На той территории Республики Ангола или в провинции, где имеется развитая телекоммуникационная инфраструктура, или где проходят наземные магистральные сети, будет присоединение к разрабатываемой ССС. Одновременно должна быть сделана некоторая модернизация существующих наземных магистральных сетей, чтобы обе сети работали взаимосвязанно, для управления разрабатываемой ССС должна быть установлена ЦЗС, которой пока не существует.

- На той территории Республики Ангола, где нет развитой инфраструктуры связи, должны быть построены ЗС, в трех выбранных провинциях. При этом, в зависимости от спроса на телекоммуникационные услуги, необходимо с максимально возможной точностью рассмотреть пропускную способность ИЗС АНГОСАТ и обеспечить частотно – территориальное планирование.

Для разработки любой ССС, одним из важных вопросов является выбор места где будут установлены ЗС. Во первых установка приемо-передающих ЗС во всех провинциях страны является неэффективным подходом, во вторых нет достаточного ЧЭР и необходимой полосы частот чтобы идти по этому пути.

Таким образом, кроме столицы были выбраны три провинции, а именно Бенгела, Заире и Южная Лунда. У выбранных провинций есть преимущество в том что национальная ВОСП проходит через их территории, что дает возможность использовать эти провинции, как центр

микроволновое радио или комбинацию обоих, когда требуется. Минихаб это небольшой концентратор с антенной размером 2 - 6 м, который передает потоки трафика в ЦЗС г.Луанде где принимаются потоки и в некоторых случаях усиливаются и распределяются между регионами, либо отправляются прямо к абонентам, находящимся в г.Луанда.

Кроме этого ЦЗС в Луанде будет передавать и принимать разные виды услуг для абонентов, которые находятся в любом из трех регионов, с помощью антенн VSAT. Видно, что на участке Куандо Кубанго - Мушико пока нет волоконной линии связи, поэтому было предложено проектировать линию, чтобы получить кольцевую топологию с помощью СР. Необходимо отметить, что такая конфигурация сети пока в Республике Ангола не существует.

Разрабатываемая структура сети связи основывается на вышесказанных подходах. В структуру проектируемой ССС входят следующие элементы:

Космический сегмент. Он включает в себя расположенные на спутнике приемопередающие устройства транспондеров, антенны для приема и передачи радиосигналов, систему контроля и управления и модули питания.

Наземный сегмент. Он состоит из ЦЗС, всех ЗС спутниковой связи, включает в себя основной и резервный центры спутниковой связи, содержащие ЦУП, центр управления сетью (ЦУС), каналы управления системой и распределительные центры для подключения к системе связи страны. ЦУП располагает служебным каналом управления с помощью которого обеспечивает отправку команд на спутник и от него получает телеметрическую информацию необходимую для полного контроля и управления спутником.

ЦУС позволяет производить динамическое разделение ресурса СР между удаленными пользователями на «линиях вниз и вверх» в соответствии с их фактическими потребностями, в результате чего оптимизируется

использование космического ресурса, обеспечивается доступ к идентификации, авторизации и тарификации, обеспечивается динамическое соединение пользователей в сети с применением МСД.

Таким образом ЦУС, являющийся подсистемой ЦЗС, обеспечивает управление трафиком и работу всех компонентов сети. ЦЗС одновременно выполняет роль шлюзовой станции для передачи телефонии, радио и телевидения, интернета и через нее объединяются группы сетей связи.

Национальный орган регулирования связи (INACOM) [103 – 107] отвечает за планирование, управление и контроль за использованием ЧЭР по всей стране.

Антенны VSAT [107], позволяют общаться друг с другом непосредственно на прямую через ГСР, осуществляя связь за один «скачок». Потенциальные пользователи этих услуг будут люди, живущие в регионах с неразвитой наземной телекоммуникационной инфраструктурой, где нет реальной альтернативы спутниковой связи.

Следует отметить, что проектируемая ССС будет использоваться для радио и телевизионного вещания, в том числе поставляя сигналы операторам кабельного телевидения, а также прямого спутникового телевидения в дома. Эти службы способствуют развитию населения, объединяют людей, делают жизнь сельских и отдаленных районов интереснее.

Для непрерывного наблюдения за полетом спутника предложен запасной ЦУП с перекрывающимися зонами радиовидимости который будет находится в России. Но решение связано во первых с тем, что из-за малого опыта ангольских специалистов необходимо увеличить время видимости спутника с помощью запасной ЦУП. Во-вторых увеличить точность определения конкретного место-положения спутника на орбите.

На рисунке 3.2 представлена Функциональная структура ЦУП, а на рис. 3.3 представлена схема доступа в проектируемую ССС из телефонной сети. На рисунке 3.4 представлена предлагаемая структура взаимосвязанной ССС.

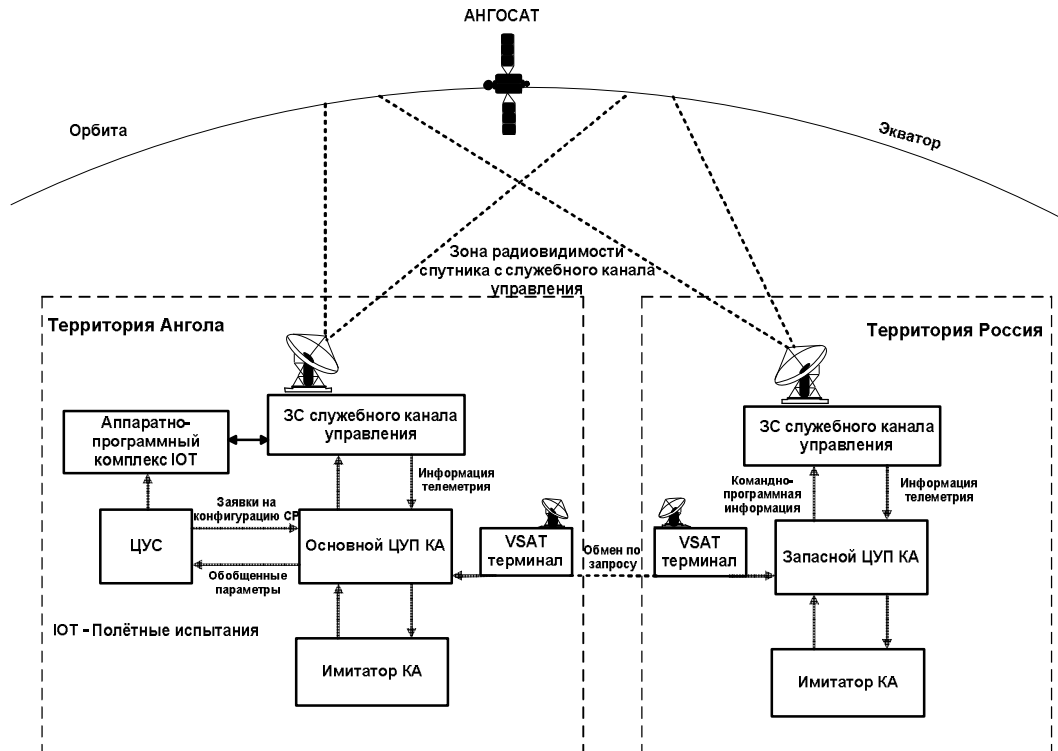


Рисунок 3.2. Функциональная структура ЦУП спутника АНГОСАТ.

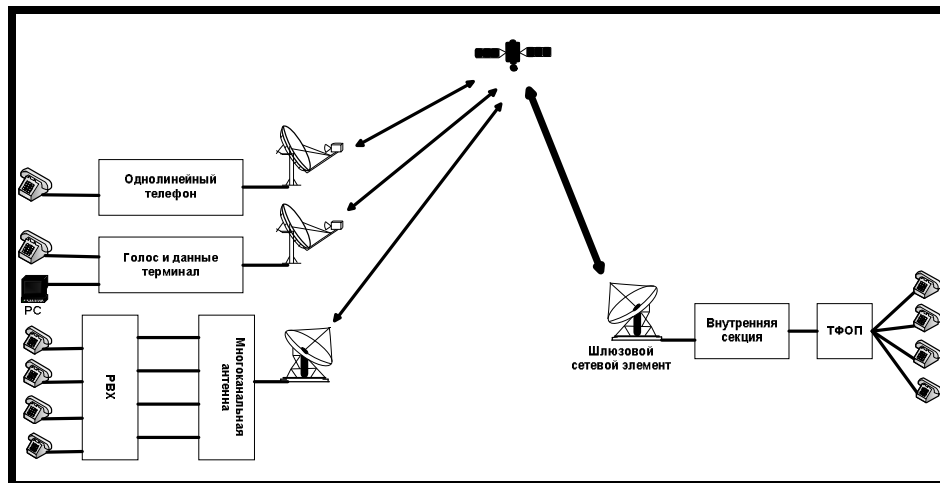


Рисунок 3.3. Схема доступа к телефонной сети с помощью VSAT

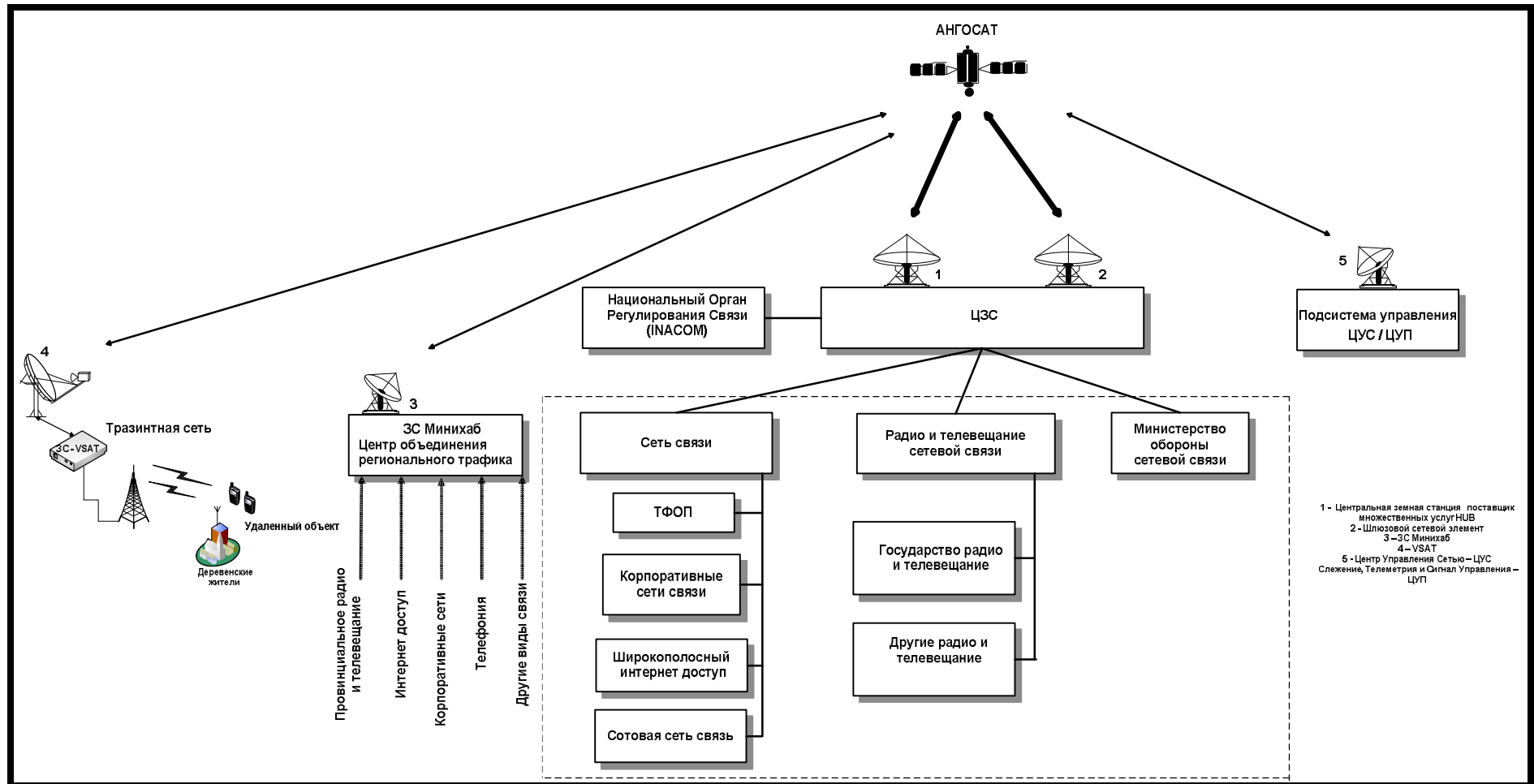


Рисунок 3.4. Разработка структуры взаимосвязанной инфотелекоммуникационной сети Республики Ангола

Из вышесказанного следует, что с помощью проектируемой ССС любой абонент может связаться с любым абонентом ТФОП взаимосвязанной системы связи, а также с любым другим абонентом, находящимся в Республики Ангола, получить доступ в интернет и услуги радио и телевидения.

3.2. Разработка алгоритма расчета линий спутниковой связи

Задача разработки ЛСС является трудоемкой. Предложенный метод расчета ЛСС написан в виде шагов, рассмотренных подробно в разделе 2.3 настоящей работы. Каждый шаг представляет определенное количество вычислений или определений значений параметров линии. Так предложен алгоритм последовательного вычисления параметров ЛСС с учетом местных природных условий Республики Ангола. Для разработки алгоритма были использованы выражения (2.1) – (2.139).

Несмотря на объем расчета, стоит отметить, что некоторые формулы повторяются как в диапазоне С, так и в Ku. Чтобы сократить объем вычислений и сделать проще описание кода алгоритма, необходимо, во-первых, чтобы все общие параметры, вычисляемые для передатчика-приемника, были сгруппированы, во-вторых, часть алгоритма позволяет вычислять параметры, которые принадлежат только диапазонам С или Ku, для передатчика и приемника соответственно.

Ввод данных. На этом этапе осуществляется ввод статистических значений в соответствии с выражениями (2.1) – (2.6), далее проводятся последовательные вычисления необходимых параметров диапазона С и Ku по определенному методу в последовательности.

Вывод данных или полученные результирующие параметры является заключительным этапом решения задачи расчета параметров ЛСС,

где окончательно определяются рассчитанные значения параметров. Через разработанную программу на ЭВМ можно просмотреть все значения параметров. Обобщенный алгоритм решения задачи приведен на рис. 3.5.

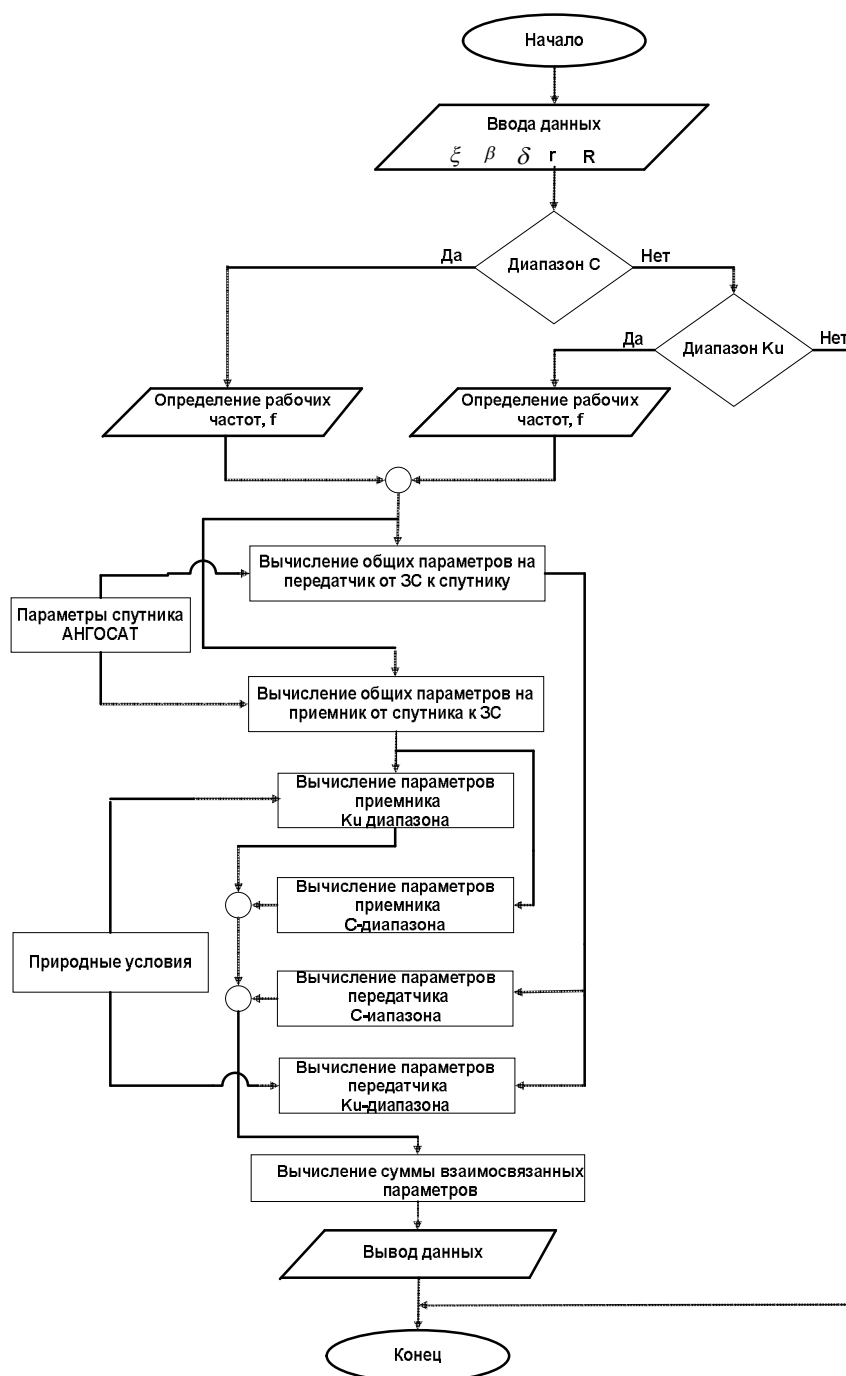


Рисунок. 3.5. Алгоритм последовательного вычисления параметров ЛСС на базе спутника «АНГОСАТ» с учетом местных природных условий Республики Ангола

3.3. Синтез программного обеспечения для расчета линий спутниковой связи

На основании алгоритма, приведенного в параграфе 3.2, была разработана программа для расчета параметров ЛСС с учетом местных природных условий. Программа разработана на языке C# на фреймворке .NET (Framework 4.5). Интерфейс реализован с использованием технологии WPF и языка разметки XAML (см. приложения Г).

Архитектура ядра программы

Организация архитектуры программы с помощью объектно-ориентированного подхода считается удачным решением, поскольку методы расчета параметров для различных типов систем в большинстве являются едиными. Используя подход наследования классов, удалось создать расширяемую систему типов и исключить дублирование методов расчета, что в конечном итоге положительно сказалось на надежности, тестопригодности, а также расширяемости приложения. Если методы расчета для конкретных типов систем отличаются, то не составляет труда в конкретном классе-наследнике определить специализированный метод расчета, при этом зависимые алгоритмы в системе автоматически правильно выберут соответствующий алгоритм расчета.

Case – класс проекта, содержит объекты классов системы окружающей среды. На рисунке 3.6 показана структура параметров окружающей среды.

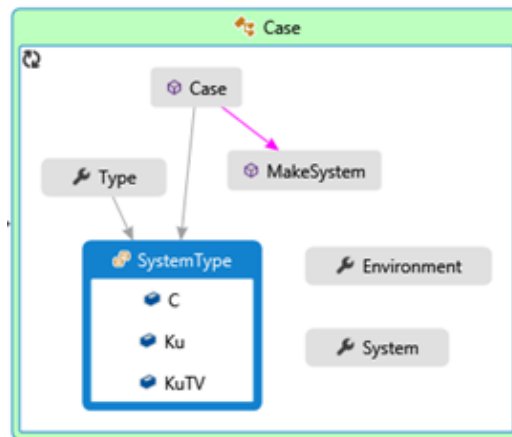


Рисунок. 3.6. Параметры окружающей среды

NetSystem – абстрактный базовый класс системы, содержит объект передатчика ($_Tx$), приемника ($_Rx$), спутника ($_S$), а также ссылку на объект окружающей среды ($_environment$). На рисунке 3.7 представлен абстрактный базовый класс системы.

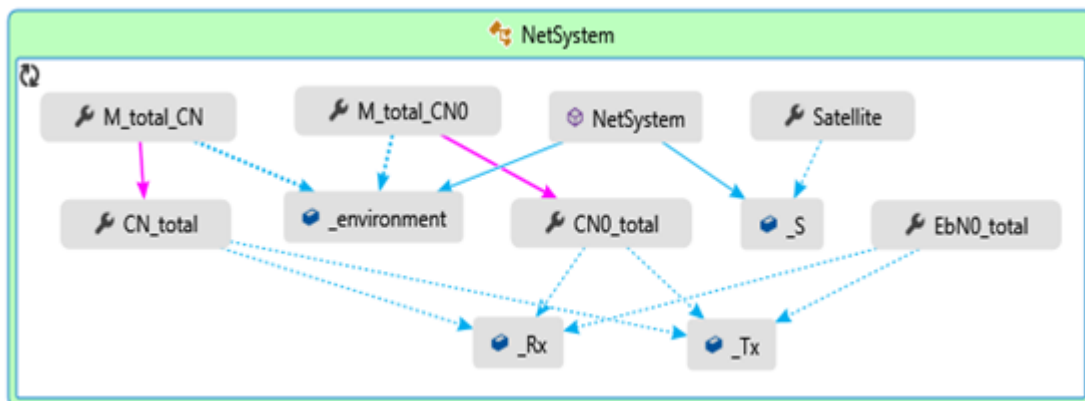


Рисунок. 3.7. Абстрактный базовый класс системы

CSystem, KuSystem, KuTVSystem – классы-наследники конкретного типа, которые инициализируют поля системы объектами конкретных экземпляров классов передатчика, приемника в зависимости от типа системы. На рисунке 3.8 изображен класс передатчика, приемника в зависимости от типа системы.

Sender – абстрактный базовый класс для устройства-отправителя.

Класс переопределяет параметры базового класса, а также добавляет специфические для отправителя параметры. На рисунке 3.12 дан абстрактный базовый класс для устройства-отправителя.

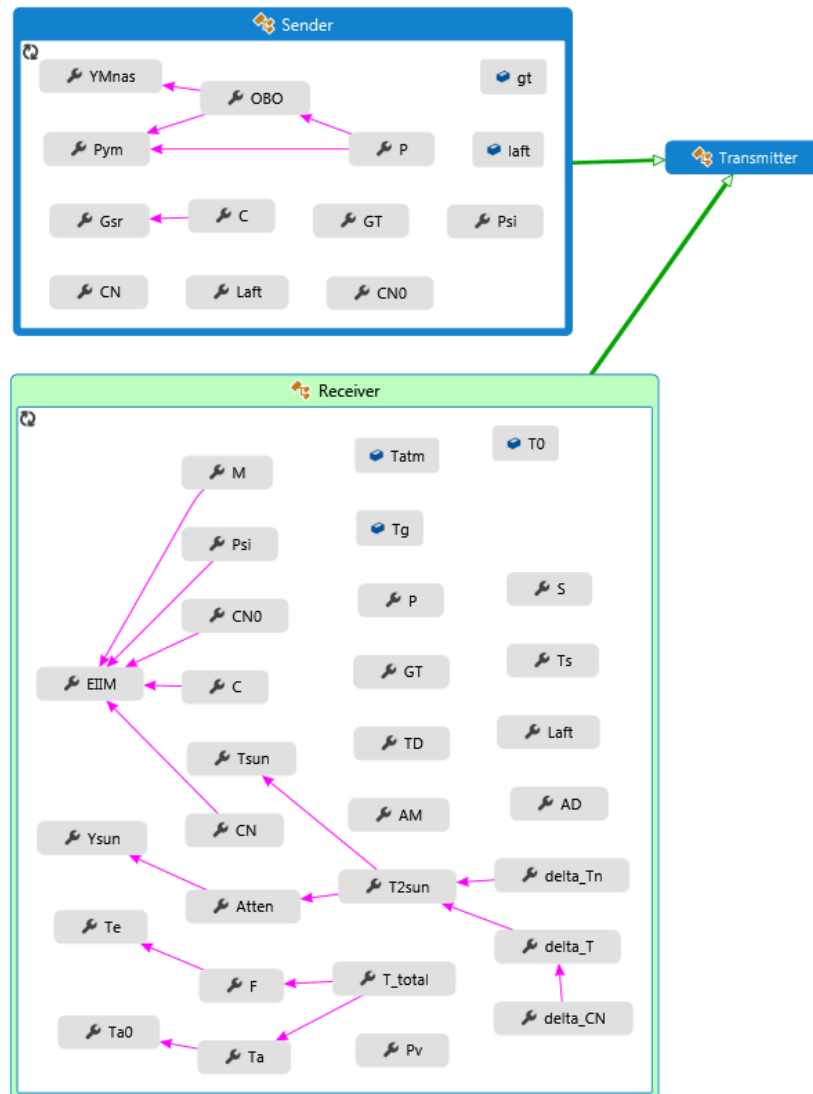


Рисунок. 3.12. Абстрактный базовый класс для устройства-отправителя

CSender, **KuSender** – классы конкретных типов отправителей передатчика (рис. 3.13).

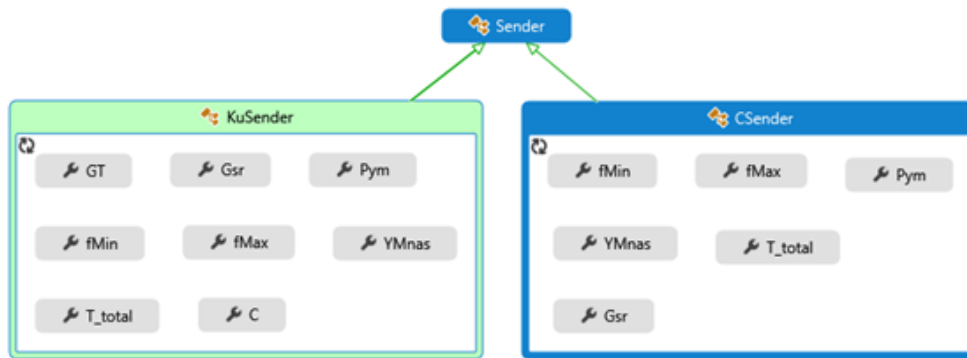


Рисунок. 3.13. Классы отправителей передатчика

Receiver – абстрактный базовый класс для устройства-получателя (см рисунок выше) Класс переопределяет параметры базового класса, а также добавляет специфические для отправителя параметры.

CReceiver, KuReceiver, KuTVReceiver – классы конкретных типов отправителей. На рисунке 3.14 представлены классы отправителей приемника.

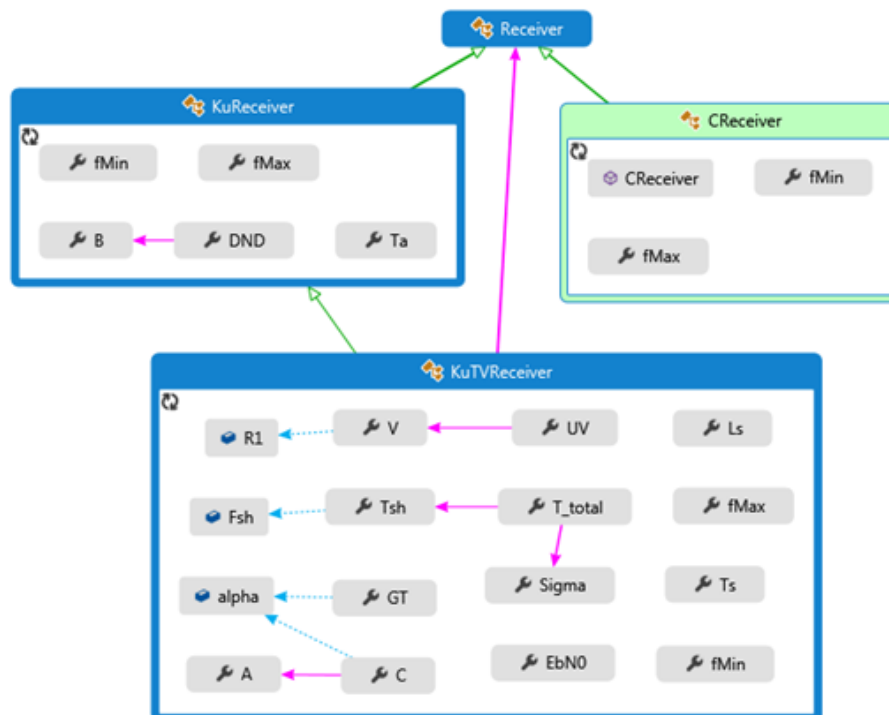


Рисунок. 3.14. Классы отправителей приемника

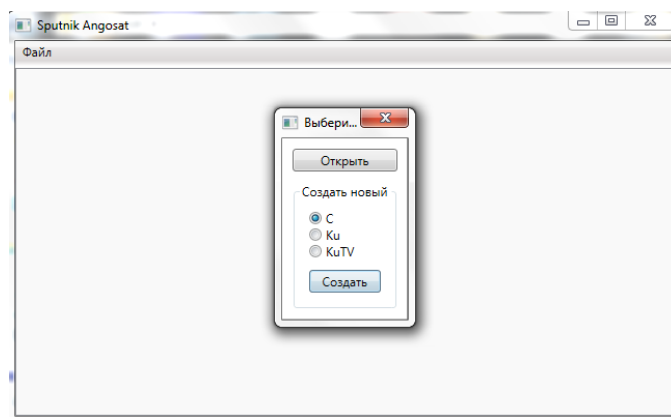
Дополнительные возможности программы

Программа позволяет сохранять и загружать данные проекта в формате xml. В большинстве случаев сериализация и десериализация

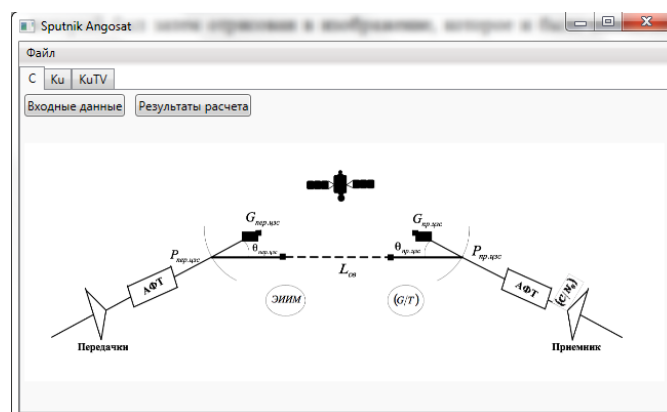
достигаются за счет стандартных возможностей рефлексии и системы мета-типов .NET. В дополнение был разработан алгоритм управления сериализацией и десериализацией корневого элемента проекта – Case.

Печать результатов проекта

Стандартные возможности печати в среде .NET весьма скромны. Для обеспечения надлежащего вида распечатываемых данных был использован подход с фоновым созданием и отображением визуального WPF-элемента, который был затем отрисован в изображение, которое и было выведено на печать. Данный подход позволяет существенно снизить сложность алгоритма печати, обеспечивая лучшее качество графической информации. На рисунке 3.15 представлен общий интерфейс разработанной программы.



а)



б)

Рисунок. 3.15. Общий интерфейс разработанной программы

3.4. Пример расчета линии спутниковой связи со спутником «АНГОСАТ»

Разработанная программа позволяет сделать и представить все расчеты, необходимые для проектирования ЛСС в целях экономии времени и усилий и достижения точности в расчетах. После выпуска программы (см. рис. 3.16) можно выбрать диапазон рабочей частоты, после чего необходимо нажать кнопку «входные данные», дальше в зависимости от характеристики ЛСС надо выбрать частоты и ряд других входных параметров на передатчик и приемник, как представлено на рис. 3.16.

Параметр	Передатчик	Приемник
Широта наземной станции, Град	8.5	8.5
Долгота наземной станции, Град	14.5	14.5
Диаметр антенны, м	9	9
Рабочая частота, МГц	6355	4130
Коэффициент наведения антенны	1.8	2.8
Потери в атмосфере, дБ	0	1.2385164096708
Количество бит на один символ	2	2
FEC	0.875	0.875
Скорость передачи символов	85	85
Эффективная температура на входе МШУ, К		150
Угол между солнцем и ЗС, Град		72.71
Эквивалентная изотропно-излучаемая мощность		39.86

Рисунок. 3.16. Входные параметры

После ввода значений параметров нажать кнопку «результаты расчета», появится окно со всеми результатами параметров (см. рис. 3.17).

Расчетные значения

Печать

Параметры системы

Параметр	Значение
Суммарное отношение сигнал-шум при мощности теплового шума, дБ	17,8
Суммарное отношение сигнал-шум при спектральной плотности мощности шума, дБ/Гц	96
Суммарное отношение энергии бита к спектральной плотности, дБ	16,7
Суммарное энергетическое запас на все линии	0,859

Параметры приемопередачи

Параметр	Передатчик	Приемник
Расстояние ЦЗС - СР, СР - ЦЗС, км	3,59Е+04	3,59Е+04
Угол между ЭС и спутником, Град	79,9	79,9
Угол поляризации ЦЗС в плоскости перпендикулярной к плоскости экватора, Град	32,9	32,9
Ширина диаграммы направленности антенны, Град	0,367	0,365
Максимальный коэффициент усиления, дБ	54	50,3
Затухание сигнала в свободном пространстве, дБ	200	196
Угол неточности наведения антенны, дБ	0,204	0,202
Потери из-за неточности наведения антенны, дБ	3,7	1,53
Суммарные дополнительные потери, дБ	3,77	1,6
Максимальные потери, дБ	203	197
Коэффициент усиления антенны, дБ	50,3	48,7
Суммарная шумовая температура приемного тракта СР, К	501	227
Максимальная мощность теплового шума, Вт	-123	-127
Спектральная плотность мощности шума, Вт/Гц	-202	-205
Эффективная мощность на ЭС, дБ-Вт	81,4	-107
Плотность потока мощности насыщения, дБ-Вт/м²	-80,7	-122
Напряженность электромагнитного поля Е, дБ-Вт	65,1	-124
Мощность на несущей, дБ	-96,1	-106
Отношение сигнал-шум, дБ-Вт	22,5	19,6
Отношение сигнал-шум относительно спектральной плотности мощности, дБ-Вт	101	97,7
Скорость передачи символов	4,86Е+07	4,86Е+07
Полоса пропускания ЛСС	6,56Е+07	6,56Е+07
Отношение энергии бит к спектральной мощности шума, дБ	21,4	18,5
Отношение несущей и суммарной температуры, дБ-Гц	-128	-131
Спектральная эффективность	1,3	1,3
Суммарный атмосферный вклад в виде затухания, дБ	0	1,24
Логичный битный С/Л	34,7	31,8

Рис. 3.17. Результаты расчета

По Ku-диапазону расчеты делают аналогично. Кроме того, если учитывать влияние дождей на ЛСС, тогда необходимо нажать кнопку «параметры среды – дождь», после чего на выходе будут представлены значения параметров под влиянием дождя (рис. 3.18).

Параметр	Передатчик	Приемник
Широта наземной станции, Град	8.5	8.5
Долгота наземной станции, Град	14.5	14.5
Диаметр антенны, м	7.3	7.3
Рабочая частота, МГц	14210	11160
Коэффициент наведения антенны	1.1	1.3
Потери в атмосфере, дБ	0.13	0.4139268515822
Количество бит на один символ	2	2
ФЕС	0.875	0.875
Скорость передачи символов	85	85
Затухание из-за дождя, дБ	12.93	7.18
Эффективная температура на входе МШУ, К		150
Угол между солнцем и ЗС, Град		72.71
Эквивалентная изотропно-излучаемая мощность		49.29

Рисунок. 3.18. Входные данные при ослаблении сигнал в дожде

Аналогично по С-диапазону с помощью кнопки «результаты расчета» находим все значения рассчитанных параметров.

Выводы

1. Выбраны 4 провинции для установлении ЦЗС и минихабов. При этом появится одна ЦЗС в г. Луанда и три минихаба в разных городах (рисунок 1.4), а также выбран общий подход построения ССС в Анголе.

2. Предложено разделить территорию Анголы на три региона соответственно с административным делением страны, количеством спроса услуг и числом жителей.

3. Разработана взаимосвязанная структура сети связи страны на основании предложенных подходов.

4. Разработан алгоритм расчета параметров ЛСС.

5. Разработаны программа на ЭВМ для расчета параметров ЛСС при местных природных условиях Республики Ангола.

6. Представлены результаты расчетов, в качестве практического применения и использования разработана программа на ЭВМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе были получены следующие аналитические и прикладные результаты, которые отражены также в работах [10, 26, 54, 98]:

1. На основании проведенного анализа предложена структура, топология и диапазоны частот для НССС Республики Ангола;

2. Модифицирована методика расчета ЛСС для учета климатических условий Африки. Для модернизации предложено в расчете учитывать значения $L_{\text{дон}}$, характеризующее потери сигнала из-за неточности угла наведения антенны, и $L_{\text{макс.д}}$ – потери сигнала из-за дождей и других климатических условий Республики Ангола;

3. Предложен алгоритм расчета ЛСС и реализующее его программное обеспечение;

4. Определен допустимый угол неточности наведения антенн ЗС и спутника, не превышающий 0.2 градуса, при котором потери энергии не превышают 3дБ;

5. Определено ослабление сигнала на ЛСС из-за интенсивных дождей. Например для ЛСС г. Луанда - г. Зайре ослабление сигнала Ку диапазона составит от 13 до 20 дБ, а отношение сигнал/шум снизится с 18 до 4 дБ;

6. Найдены вероятности появления замираний из-за дождей с учетом их длительности;

7. Рассчитаны параметры ЛСС Республики Ангола и определен необходимый запас энергопотенциала на замирания, составляющий 1,7 дБ для С диапазона и до 12 дБ для Ку диапазона;

8. Результаты диссертационной работы нашли практическое применение как рекомендация по разработке линий спутниковой связи в интересах Министерства телекоммуникации и инфокоммуникационных технологий Республики Ангола и внедрены в учебный процесс ВлГУ.

Список литературы

1. Angola em números. Instituto Nacional de Estatísticas // Angola. – 2014. 60с.
2. Материалы сервера www.inamet.gov.ao
3. Международный союз электросвязи (МСЭ) (Материалы сервера www.itu.int).
4. SES - глобальный спутниковый оператор с сетью представительств по всему миру. Курс повышения квалификации «Технология спутниковой связи Часть 1», г.Бетцдорф, Люксембург (по проекту АНГОСАТ). – 2013г.
5. Estefania Jover, Anthony Lopes Pinto, Alexandra Marchand. Angola perfil do sector privado do país. Publicado «African development Bank e African development Fund», Setembro 2012, -96с.
6. Национальный орган регулирования радиосвязи (INACOM) в Республики Ангола (Материалы сервера www.inacom.og.ao).
7. Белая книга для информационных технологий и связи министерства телекоммуникаций и информационных технологий Республики Ангола // МТТИ. – 2011. – 88 с.
8. Материалы от Министерства телекоммуникаций и информационных технологий Республике Ангола. Ежегодный отчет // МТТИ. – 2012. – 64 с.
9. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. – М.: «Альпина Паблишер», 2004. – 536 с.
10. Жоау Амару. Построение линии связи через геостационарный спутник / Жоау Амару, А.Г. Самойлов // X МНТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации». – Владимир, 2013, т.1. – С. 103 – 105.

11. В.А Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. Сети и системы радиодоступа. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
12. Джамалипур А. Беспроводные мобильный интернет: архитектура, протоколы и сервисы. Учебное пособие для вузов / Под ред. к.т.н. В.К. Орлова – М.: Техносфера, 2009. – 496 с.
13. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации. Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Березовского – М.: Техносфера, 2011. – 904 с.
14. Скаляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104.
15. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. Справочник / М.: Радио и связь. - 1985.-312 с.
16. Сомов А. М., Корнев С. Ф. Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов / Под ред. А. М. Сомова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 244 с.
17. Kolawole M.O. Satellite Communication Engineering. Melbourne, Australia 2002 – 270с.
18. Кантора Л.Я. Спутниковая связь и вещание: Справочник /Под ред. Кантор Л.Я. М.: Радио и связь. - 1987. - 528 с.
19. Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание. Справочник/Под ред. Л.Я. Кантор. -М.: Радио и связь. 1997.- 344с.
20. Malcolm Macdonald, Viorel Badescu. The International Handbook of Space Technology. Springer and Praxis., – 1st ed., 2014, - с. 715.
21. Intelsat VSAT. Handbook. Washington, D. C. September 1998
22. Чурмасов С.В., Францева Т.С. Подход к синтезу сети спутниковой связи с минимально необходимой пропускной способностью // Электросвязь. -1998.-№9,-С. 30-31.

23. Jerry D. G. The Communications: handbook, 2nd ed. Dalas, Texas: CRC PRESS, 2002, - 1527с.
24. International telecommunication union. Article Five: Frequency allocations // ITU. – 2009.
25. Требования к характеристикам подсистемы связи «спутник АНГОСАТ» министерства телекоммуникаций и информационных технологий Республики Ангола // МТТИ. – 2010. – 54 с.
26. Головин О.В, Чистяков Н.И., Шварц В., Хадрон Агиляр И. Радиосвязь; Под ред. проф. Головина О.В – 3-е изд., стереотип.-М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 286 с.
27. Plano estratégico do espectro radioelectrico/Стратегический план радиочастотного спектра. INACOM. - Министерства Телекоммуникаций и Информационных технологий Республики Ангола // МТТИ. – 2014. – 49 с.
28. International Telecommunications Union. Handbook on Satellite Communications, 3rd ed. – 2002, – 1066с.
29. International Telecommunications Union. Handbook on Satellite Communications, 3rd ed. – 2002, – 1066с.
30. Dennis Roddy. Satellite Communications: 4th ed. Dalas, Texas: McGraw-Hill, 2006, - 636с.
31. Wilfried Ley, Klaus Wittmann, Willi Hallmann. Handbook of Space Technology. John Wiley & Sons publication., – 1st ed., 2009, - с. 882.
32. Gérard Maral. Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technologies/ Michel Bousquet. – 5th ed. Chichester West Sussex: A John Wiley and Sons, 2009, - 697с.
33. Банкет В.Л., Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связи, 1998. – 240с.

34. Robert Gallager. Low Density Parity Check Codes – LDPC. IRE Trans. Inf. Theory, - 1962, с. 21-28.
35. D.J.C. Mackay and R.M. Neal. Near Shannon Limit Performance of Low-Density Parity-Check Codes. Electronics Letters, v. 32, Aug. 1996, с. 1645-1646.
36. Bruce R. Elbert. The satellite communication ground segment and earth station. Handbook – Artech house, 2001, - 357с.
37. Joseph N. Pelton. Scott Madry. Sergio Camacho-Lara. Handbook of satellite applications. Springer Science., – 2013, - с. 1225.
38. Анпилогов, Ермилов. Особенности международного и национального управления использованием радиочастотного спектра для VSAT-систем // Спутниковая связь и вещание, 2011 - С. 41 - 47.
39. Портнов Э.Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 544 с.
40. Материалы программы обеспечения Google Earth.
41. Geraldo Gil Ramundo Gomes. Sistemas de Radioelances Digitais: terrestre e por satélite. – 1. Ed. – São Paulo – Erica, 2013 – 352с.
42. International Telecommunication Union. Maximum equivalente isotropically radiated power of transmitting stations in the fixed servisse operating in the frequency band 25.25 – 27.5 GHz shared with the inter-satellite service. Rec. ITU – R: F.1249 – 1, 2000, - 27с.
43. International Telecommunication Union. Radiation diagrams for use as design objectivies for antenas of earth stations operating with geostationary satellites. Rec. ITU – R: S.580 – 6, 2003, - 3с.
44. International Telecommunication Union. Calculation of free-space atenuation. Rec. ITU – R: P.525 – 2, 1994, - 3с.

45. Каменский Н.Н., Модель А. М., Надененко Б.С и др.; Справочник по радиорелейной связи.– Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Радио и Связи, 1981. – 416 с., ил.
46. Maral G., Bousquet M. Satellite Communication Systems. A John Wiley and Sons, 1993, - 688с.
47. Жоау Амару. Самойлов А.Г. Выбор угла наведения антенны для линии спутниковой связи С-диапазона // XVII Всероссийская научная конференция студентов-радиофизиков: Тез. Докл. – СПб.: Изд-во «Соло», 2014. – С. 10 – 12.
48. International Telecommunication Union. Characteristic of precipitation for propagation modeling. Rec. ITU – R: P.837 – 6, 2012, - 14с.
49. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. Пер. с англ./Под. ред. В.В. Маркова. – М.: Связь, 1979. – 592 с.
50. Louis J. Ippolito, Jr. Satellite communications systems engineering: atmospheric effects, satellite link design and system performance. – A John Wiley and Sons, 2008, - 367с.
51. Рекомендация МСЭ – R: S.1323. Maximum permissible levels of interference in satellite network in the fixed – satellite service caused by other codirectional FSS networks below 30 GHz. - 2002, - 81с.
52. International Telecommunication Union. Determination of the G/T ratio for earth statios operating in the fixed-satellite servisse. Rec. ITU – R: S.733 – 2, 2000, - 14с.
53. International Telecommunication Union. Impact of interference from the sun into a geostationary-satellite orbit fixed-satellite service link. Rec. ITU – R: S.1525 – 1, 2002, - 14с.
54. Рекомендация МСЭ – R: BO.1506. A metodology to evaluate the impact of solar interference on GSO broadcasting-satellite service (BSS) link performance. - 2000, - 14с.

55. Rauthan D.B., Garg V.K. Geostationary satellite signal degradation due to sun interference. Journal of Aeronautical Society of India, – 1985. - Вып. №37, с. 137-143.
56. Vuong X.T., Forsey R.J. C/N degradation due to sun transit in na operational communication satellite system. Satellite Communication Conference SCC, Ottawa – 1983. – с. 11.3.1. – 11.3.4.
57. Материалы сервера www.pveducation.org
58. Материалы сервера www.satellite-calculation.com
59. Ho H.C. On the determination of the disk temperature and the flux density of radio source using high gain antennas. IRE transactions on antennas and propagation. – 1961. - C.500-510.
60. Isaac Sofair. A method for calculating exact geodetic latitude and altitude. Naval surfasse warfare center. Virginia - 1993., - 19с.
61. Yongju Song. Prediction of communication outage period between satellite and Earth station due to sun interference. J. Astron Space Sci., - 2010., Вып. №27., - C.31- 42.
62. Andrea Goldsmith. Wireless communications. Cambridge university., – 2005, - 633с.
63. Lin S.H. A method for calculating rain attenuation distributions on microwave. The Bell system técnica jornal. – vol.54, №.06, 1975., - C.1051 – 1086.
64. Malinga S.J., Owolawi P.A. Estimation of rain attenuation at C, Ka, Ku and V bands for satellite links in South Africa. Progress in electromagnetics research symposium proceedings., Taipei. – March 2013.
65. Asoka Dissanayake., Jeremy Allnull. A prediction model tahta combines rain attenuation and other propagation impairments along Earth satellite paths. Journal of space communication. Issue №.02., - 2002.

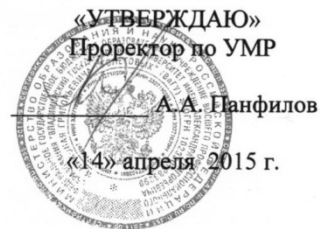
66. Sridhar M., Padma Raju K. Estimation of rain attenuation based on ITU-R model in guntur India. ACEEE Int. J. on communication. Vol.03, N°03., - 2012. C. 6 – 10.
67. Ruthroff C.L. Rain attenuation and radio path design. Bell system tecnical jornal., Vol 49, issue 1., - 1970. – C. 121 – 135.
68. Ojo S.J., Ajewole M.O., Skartar S.K. Rain rate and rain attenuation prediction for satellite communication in Ku and Ka bands over Nigeria. Progress in electromagnetics research B, Vol. 5., - 2008. – C. 207 – 223.
69. Louis J. Ippolito. Propagation effects handbook for satellite systems design. NASA reference publication., – 5th ed., 1999, – C. 390.
70. Рекомендация МСЭ – R P.618 – 11. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication system.
71. Whitney H.E., Basus B. The effect of ionosferic scintillation on VHF/UHF satellite communication // Radio Sci. 1977. V.12. N° 1. P. 123.
72. Рекомендация МСЭ – R: P.839 – 4. Rain height model for prediction methods. - 2013.
73. Рекомендация МСЭ – R: P.838 – 3. Модель погонного ослабления в дожде, используемая в методах прогнозирования. - 2005.
74. Рекомендация МСЭ – R: P.840 – 6. Attenuation due to clouds and fog. – 2013.
75. Hogg D.C., Shing C.T. The role of rain in satellite communicatios // Proc. IEEE 1975- V.63. N°09 P.1308.
76. Dutton E.I., Kobayashi H.K., Dougherty H.T. Na improved model for Earth-space microwave attenuation distribution prediction // Radio Sci. 1982 V.17 N°06. P.1360.
77. Рекомендация МСЭ – R: P.676 – 10. Attenuation by atmospheric gases. – 2013. – 24с.

78. Crane R.K. A two-component rain model for the prediction of attenuation statistics // Radio Sci. 1982 V.17 N°06. P.1371.
79. Macchirela G.A. Comparative analysis of some prediction methods for rain attenuation statistics in Earth-space links // Radio Sci. 1985 V.20 N°01. P.35.
80. Liebe H.J., Hufford and M.G. Cotton. Propagation modeling of moist air and suspended water/ice particles at frequencies below 1000 GHz // AGARD 52nd Specialists Meeting of the Electromagnetic Wave Propagation Panel, Palma De Mallorca, Spain, May 1993. – C. 12 – 21.
81. Whiteman D.N., Melfi S.H. Cloud liquid water and particle size detection using a raman lidar. Ninth ARM team meeting proceedings, San Antonio, Texas. -1999.
82. Яковлев О.И. Космическая радиофизика. – М.: Научная книга. 1998. – 432 с.
83. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М. Физ. – мат. литература. 1960. 552 с.
84. Рекомендация МСЭ – R: S.1323. Maximum permissible levels of interference in satellite network in the fixed – satellite service caused by other codirectional FSS networks below 30 GHz. - 2002, - 81с.
85. Материалы сервера www.eutelsat.com
86. Рекомендация МСЭ – R: S.1418. Method for calculating single entry carrier – to – interference. - 1999.
87. Рекомендация МСЭ – R: S.740. Technical coordination methods for fixed-satellite networks. – 1992, - pp. 31.
88. Danny W.H. Tham. Carrier to interference C/I calculation. ITU regional Radiocommunication Seminar for ASIA. Ha Noi, - 26 – 30 May 2014.

89. Recommendation ITU-R PN.837. Characteristics of precipitation for propagation modeling, 1922-1944.
90. Эффективность оценки фазы радиосигнала при наличии быстрых замираний. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. 2010. № 2. С. 221-228.
91. Жоау Амару. Самойлов А.Г. Оценка замираний сигнала на линиях спутниковой связи Республики Ангола. ВАК Журнал. Проектирования и технология электронных средств.: 2014. – С. 19-25.
92. Кеннеди Р. Каналы связи с замиранием и рассеянием / Пер.с англ. – Под ред А.И.Овсеевича. -М.: Сов. Радио, 1973.
93. Рекомендация МСЭ – R P.1623 – 1.
94. Paulson, K.S, Gibbins, C.J. Rain models for the prediction of fade duration at millimetre wavelengths. IEE Proc. Microwave Antennas Propag. 147 (6), 431 – 436.
95. Дятлов А.П. Системы спутниковой связи с подвижными объектами: Уч. Пособие. – Таганрог, ТРТУ. – 1997, ч. 1. – 95 с.
96. Рекомендация МСЭ – R: ВО.1784. Цифровая спутниковая система радиовещания с гибкой конфигурацией. – 2007, pp.22.
97. Рекомендация МСЭ – R: ВТ.601 – 7. Студийные параметры кодирования цифрового телевидения для стандартного 4:3 и широкоэкранный 16:9 форматов. – 2011, - pp. 19.
98. SES - глобальный спутниковый оператор с сетью представительств по всему миру. Курс повышения квалификации «Технология спутниковой связи Часть 2» в г.Луанда, Ангола (по проекту АНГОСАТ). – 2014г.
99. Recommendation EBU – R132. Signal Quality in HDTV production and broadcast services. – Geneva 2011. 19с.

100. Recommendation ITU – T H.264. Advanced video coding for generic audiovisual services. – 2014.
101. Дерек Стивенсон. Спутниковое ТВ. Практическое руководство изд. 4-е. - М.: ДМК Пресс, 2001. – 496 с.
102. Рекомендация МСЭ – R: ВО.790. Characteristics of receiving equipment and calculation of receiver figure-of-merit (G/T) for the broadcasting-satellite service.
103. International Telecommunication Union. National Spectrum Management. Handbook, 1.01 ed. Geneva: ITU-R, 2005. - 340с.
104. Reference Manual ITU-R NPM/4.1. Telecom Network Planning for Envolving Network Architectures. Draft version 4.1, February 2007-417с.
105. Жоау Амару. Самойлов А.Г. К разработке системы спутниковой связи для Республики Ангола. 69-я Научно-техническая конференция // ВлГУ. – 2014. – С. 6 – 7.
106. Robertazzi Thomas G. Planning telecommunication Networks. New York: IEEE Communication Society, IEEE Press, 1991. - 88с.
107. Домингуш Жайме Сакалема. Сети подвижной связи с CDMA: построение и проектирование. – М.: сайнс – пресс, 2012. – 240 с.
108. Соколов Н.А. Семь аспектов развития сетей доступа. – технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа», 2005.
109. Жоау Амару. Егоров А.В. Повышение помехоустойчивости низкоскоростного кодера речи // Вестник РГРТУ. – 2013. – Вып. №46 – С. 138 – 142.
110. Жоау Амару. Самойлов А.Г. Алгоритм дистанционной медицины через спутник АНГОСАТ. Доклад 11 – й межд. науч. конф //Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии// Книга 1 – Владимир: 2014. – С. 384-387.

111. Жоау Амару. Альшдайдэх А. Самойлов А.Г. Самойлов А.Г. Имитация сигналов источника цифровых сообщений. Доклад 11 – й межд. науч. конф //Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии// Книга 1 – Владимир: 2014. – С. 229-230.

Приложение А.**Акт внедрения****АКТ ВНЕДРЕНИЯ**

Результатов диссертационной работы аспиранта кафедры РТ и РС Жоау Амару Ф.А. выполненной на тему «Разработка национальной спутниковой информационный сети Республики Ангола».

Настоящий акт составлен о том, что материалы диссертационной работы аспиранта Жоау Амару Ф.А. внедрены в учебный процесс на кафедре радиотехники и радиосистем ВлГУ по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и используются:

- в дисциплине «Основы теории связи»;
- в дисциплине «Основы построения телекоммуникационных систем».

Заведующий кафедрой
радиотехники и радиосистем

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'O.P. Nikitin'.

О.Р. Никитин

Приложение Б.

Координаты точек границ зоны обслуживания С-диапазона

Табл. Б.1

Зона А					
№ п/п	в. д., град.	с. ш., град	№ п/п	в. д., град.	с. ш., град
1.	40.18	68.52	31.	9.44	4.53
2.	42.21	66.01	32.	5.69	4.53
3.	42.98	61.39	33.	2.89	6.55
4.	42.49	56.09	34.	-1.64	5.01
5.	40.66	51.46	35.	-3.47	4.53
6.	38.64	47.70	36.	-7.23	4.53
7.	35.07	43.66	37.	-9.83	5.01
8.	31.80	39.32	38.	-16.67	11.37
9.	27.75	34.98	39.	-17.44	14.94
10.	24.96	32.19	40.	-16.67	22.26
11.	36.91	22.26	41.	-9.25	32.96
12.	42.49	10.60	42.	-9.83	38.84
13.	40.95	-2.12	43.	-8.77	43.08
14.	39.70	-8.19	44.	-8.00	45.20
15.	40.66	-11.47	45.	-10.79	51.75
16.	41.24	-15.03	46.	-10.31	55.32
17.	35.65	-24.19	47.	-8.0	56.57
18.	32.28	-29.30	48.	-7.03	59.37
19.	26.02	-34.12	49.	-3.47	60.43
20.	19.66	-34.60	50.	5.20	62.16
21.	18.60	-33.83	51.	10.50	65.53
22.	14.84	-26.98	52.	16.28	69.29
23.	14.26	-24.77	53.	24.48	71.60
24.	11.47	-18.12	54.	31.80	70.54
25.	13.59	-11.28	55.	40.18	68.52
26.	13.30	-8.96	—	—	—
27.	13.01	-7.42	—	—	—
28.	11.27	-3.85	—	—	—

Окончание табл. Б.1

№ п/п	в. д., град.	с. ш., град	№ п/п	в. д., град.	с. ш., град
1.	8.96	-0.87	—	—	—
2.	9.73	2.22	—	—	—
Зона В					
№ п/п	в. д., град.	с. ш., град	№ п/п	в. д., град.	с. ш., град
1	-27.96	18.77	8	-20.55	14.79
2	-27.63	19.50	9	-22.43	13.08
3	-26.79	19.77	10	-24.46	12.77
4	-22.90	19.68	11	-26.29	13.50
5	-20.82	18.10	12	-27.86	15.87
6	-20.55	17.73	13	-27.96	18.77
7	-20.42	17.09			

Координаты точек границ зоны обслуживания Ки-диапазона

Табл. Б.2

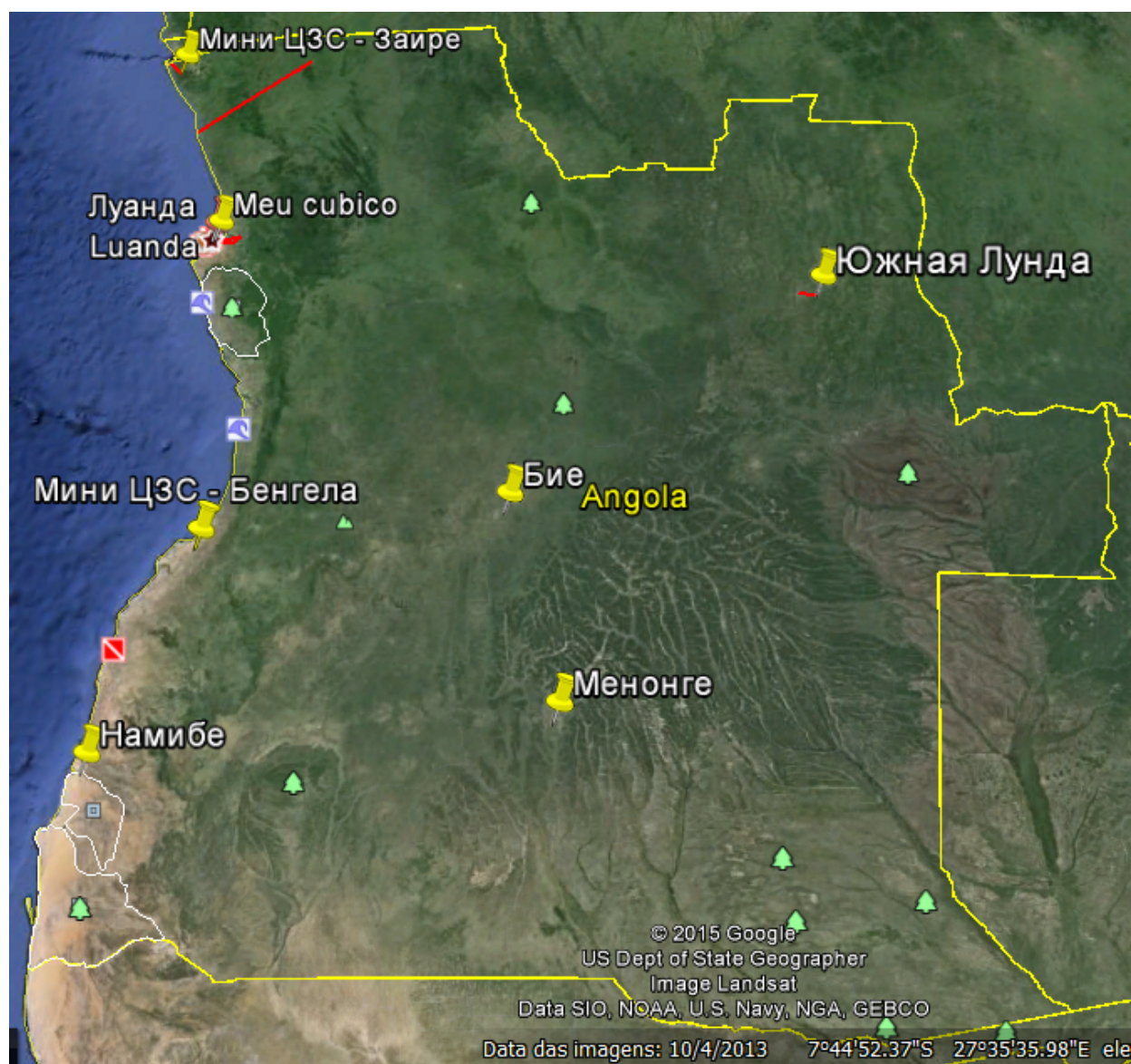
Зона А					
№ п/п	в. д., град.	с. ш., град	№ п/п	в. д., град.	с. ш., град
1	7.18	2.11	26	30.79	-30.74
2	6.31	1.66	27	28.48	-32.66
3	5.72	0.85	28	26.26	-33.84
4	5.77	0.03	29	24.76	-34.29
5	6.59	-1.10	30	20.03	-34.74
6	10.45	-2.28	31	18.48	-33.70

Окончание табл. Б. 2

7	9.35	0.17	32	18.03	-32.60
8	8.45	1.58	33	14.98	-26.65
9	7.77	2.03	34	11.63	-17.30
10	7.18	2.12	35	12.22	-14.31
11	30.62	3.75	36	13.13	-12.54
12	31.30	2.03	37	13.49	-12.17
13	30.12	0.85	38	13.72	-10.37
14	29.00	-2.51	39	13.27	-8.28
15	29.58	-5.47	40	11.80	-4.73
16	30.85	-8.23	41	12.45	-4.37
17	32.62	-9.33	42	14.39	-4.37
18	34.26	-9.72	43	15.21	-4.42
19	34.79	-10.54	44	15.94	-3.83
20	36.06	-14.90	45	16.39	-1.83
21	34.85	-20.12	46	17.66	-0.51
22	35.75	-22.34	47	18.62	3.00
23	35.38	-24.03	48	19.49	5.21
24	32.85	-26.57	49	25.80	5.44
25	32.26	-28.94	50	29.75	4.62
Зона АА					
№ п/п	в. д., град.	с. ш., град	№ п/п	в. д., град.	с. ш., град
1	12.61	-6.20	9	23.42	-17.51
2	13.08	-7.90	10	24.13	-12.69
3	13.61	-9.99	11	23.84	-10.90
4	13.52	-11.54	12	21.57	-7.28
5	13.14	-12.60	13	20.19	-6.87
6	12.23	-14.48	14	16.40	-5.88
7	11.82	-17.10	15	12.52	-5.96
8	21.43	-18.04	—	—	—

Приложение В.

Месторасположение ЦЗС из пакета программа Google Earth



Приложение Г.

Расчет линий спутниковой связи Республики Ангола

Таблица Г.1. Расчет ЛСС в С-диапазоне г. Луанда – г. Бенгела

Сокр.	Входной параметр спутника	ЛСС вверх	ЛСС вниз	Единица измерения
γ	Долгота подспутниковой точки	14.5 в.т.	14.5 в.т.	град
$L_{\text{пол}}$	Потери из-за несогласованности поляризации антенн	0.07	0.07	дБ
T_{Σ}	Суммарная шумовая температура приемного тракта СР	501.18		°К
Δf	Полоса пропускания канала СР	72	72	МГц
ЭИИМ	Эквивалентная изотропно излучаемая мощность		39.86	дБ · Вт
(G/T)	Добротность	-6		дБ/К
Входной параметр ЗС				
ξ	Широта ЗС	8.5	12.42	град
δ	Долгота ЗС	13.33	13.24	град
r	Расстояние до геостационарной орбиты	35786	35786	км
R	Радиус Земли	6378	6378	км
D	Диаметр антенны	9	6	м
f	Рабочая частота	6355	4130	МГц
k_u	Коэффициент использования поверхности антенны	70	70	%
R_b	Скорость передачи информации	85	85	Мбит/с
	FEC	7/8	7/8	
	Модуляция	QPSK	QPSK	
Параметр ЛСС				
d	Расстояние ЗС - СР, СР - ЗС	35868	35868	км
Y_m°	Угол места между ЗС и спутником	79.90	75.3	град
$\cos\psi$	Угол поляризации ЦЗС в плоскости, перпендикулярной к плоскости экватора	32.94	-53.6	град
$\theta_{\text{зоб}}^\circ$	Ширина диаграммы направленности антенны	0.367	0.847	град
$G_{\text{макс}}$	Максимальный коэффициент усиления	54	46.73	дБ
S	Эффективная площадь покрытия ЗС		19.79	дБ · м²

Продолжение табл. Г.1

Сокр.	Параметр ЛСС	ЛСС вниз	ЛСС вниз«поглоще ние вследствие дождя»	Единиц а измере ния
$L_{св}$	Затухание сигнала в свободном пространстве	199.56	195.84	дБ
θ	Угол неточности наведения антенны	0.204	0.202	дБ
$L_{ор}$	Потери из-за неточности наведения антенны	3.7	0.68	дБ
$L_{доп}$	Суммарные дополнительные потери	3.77	0.75	дБ
$L_{макс}$	Максимальные потери	203.33	196.59	дБ
G	Коэффициент усиления антенны	50.29	46.05	дБ
$F_{ш}$	Общий шум-фактор приемника		1.81	дБ
T_{a0}	Шумовая температура при ясном небе		69.02	К
T_a	Эквивалентная шумовая температура антенны		76.52	К
T_{Σ}	Суммарная шумовая температура приемного тракта		226.52	К
N	Максимальная мощность теплового шума	-123.03	-126.88	дБ
N_0	Спектральная плотность мощности шума	-201.6	-205.05	дБ
OBO	Потери выходной мощности на одной несущей	-0.41		дБ
P	Эффективная мощность на ЗС	81.4	-110.68	дБ · Вт
Ψ	Плотность потока мощности насыщения	-80.67	-125.25	дБ · Вт/м²
E	Напряженность электромагнитного поля Е	65.12	-126.99	дБ · Вт
C	Мощность полезного сигнала	-96.15	-109.25	дБ
(G/T)	Добротность		23.18	дБ/К
(C/N)	Отношение несущей к шуму сигнала с тепловым шумом	22.11	19.89	дБ · Вт
(C/N_0)	Отношение несущей к шуму относительно спектральной плотности мощности	100.68	95.05	дБ · Гц
R_c	Скорости символ	48	48	Мбод/с
Δf	Занятая ширина полосы	65	65	МГц
(E_b/N_0)	Отношение энергии бита к спектральной мощности шума	18.13	15.76	дБ · Вт
(C/T)	Отношение несущей к суммарной температуре	-127.92	-130.55	дБ · Гц
$(C/N)_{\Sigma}$	Суммарное отношение несущей к шуму сигнала с тепловым шумом при мощности теплового шума	15.84		дБ

Окончание табл. Г.1

Сокр.	Параметр ЛСС	ЛСС вниз «поглощение вследствие дождя»		Единица измерения
$(C/N_0)_\Sigma$	Суммарное отношение несущей к шуму сигнала с тепловым шумом при спектральной плотности мощности шума	94		дБ · Гц
$(E_b/N_0)_\Sigma$	Суммарное отношение энергии бита к спектральной плотности	14.71		дБ
$T_{\text{Солнце}}$	Солнечная температура на ЗС		2070	К
$T'_{\text{Солнце}}$	Солнечная шумовая температура на ЗС		20531	К
$\Delta T_{\text{пр.цзс}}$	Увеличение солнечной шумовой температуры		8030	К
ΔT_n	Увеличение солнечной шумовой температуры при использовании поляризатора		10265	К
AD	Количество дней влияния Солнца на ЗС		3	день
AM	Максимальное время влияния Солнца на ЗС		5	мин
TD	Общая продолжительность времени влияния Солнца на ЗС		14	мин
$\Delta(C/N)$	Ухудшение отношения сигнал-шум из-за солнечной температуры		15.62	дБ
M	Энергетический запас линии связи		0.75	дБ
G	Спектральная эффективность	1.3	1.3	бит с ⁻¹ .Гц
P	Вероятность битовой ошибки		10^{-8}	

Таблица Г.2. Расчет ЛСС в Ку-диапазоне г. Луанда – г. Бенгела

Сокр.	Входной параметр спутника	ЛСС вверх	ЛСС вниз	Единица измерения
γ	Долгота подспутниковой точки	14.5 в.т.	14.5 в.т.	град
$L_{\text{пол}}$	Потери из-за несогласованности поляризации антенн	0.07	0.07	дБ
T_Σ	Суммарная шумовая температура приемного тракта СР	478.63		К
Δf	Полоса пропускания канала СР	72	72	МГц
ЭИИМ	Эквивалентная изотропно излучаемая мощность		39.86	дБ · Вт
(G/T)	Добротность	-6		дБ/К

Продолжение табл. Г.2

Входной параметр ЗС						
ξ	Широта ЗС	8.5	12.42	град		
δ	Долгота ЗС	13.33	13.24	град		
r	Расстояние до геостационарной орбиты	3578	35786	км		
R	Радиус Земли	6378	6378	км		
D	Диаметр антенны	7.3	7.3	м		
f	Рабочая частота	14210	10990	МГц		
k_u	Коэффициент использования поверхности антенны	70	70	%		
R_b	Скорость символ	54	54	Мбит/с		
	FEC	3/4	3/4			
	Модуляция	8PSK	8PSK			
		Атмосферные условия				
Сокр.	Параметр ЛСС	ЛСС вверх «ясно»	ЛСС вниз «ясно»	ЛСС вверх «поглощение вследствие дождя»	ЛСС вниз «поглощение вследствие дождя»	Едини ца измер ения
d	Расстояние ЗС - СР, СР - ЗС	35868	35868	35961	35961	км
γ_m°	Угол места между ЗС и спутником	79.9	79.9	75.3	75.3	град
$\cos\psi$	Угол поляризации ЦЗС в плоскости, перпендикулярной к плоскости экватора	32.9	32.9	-53.63	-53.63	град
$\theta_{3дБ}^\circ$	Ширина диаграммы направленности антенны	0.202	0.361	0.202	0.361	град
$G_{\max}$	Максимальный коэффициент усиления	59.17	54.15	59.17	54.15	дБ
$A_{0.01}$	Модель МСЭ-R: ослабления сигнала дождей для 0.01% времени	0	0	12.93	7.68	дБ
C/XPD	Деполяризация	-2.03	-1.76	-2.54	-1.89	дБ
A	Затухание радиоволн в слое облачности	0.58	0.35	0.58	0.35	дБ/км
L_A	Суммарный атмосферный вклад в виде затухания	1.24	1.24	13.06	8.92	дБ

Продолжение табл. Г.2.

Сокр.	Параметр ЛСС	ЛСС вверх «ясно»	ЛСС вниз «ясно»	ЛСС вверх «поглощение вследствие дождя»	ЛСС вниз «поглощение вследствие дождя»	Единиц а измерен ия
S	Эффективная площадь покрытия ЗС		11.89		11.89	дБ · м²
$L_{св}$	Затухание сигнала в свободном пространстве	206.55	204.34	219.61	213.26	дБ
θ	Угол неточности наведения антенны	0.184	0.2	0.184	0.2	дБ
$L_{ор}$	Потери из-за неточности наведения антенны	9.92	3.1	9.92	3.1	дБ
$L_{дон}$	Суммарные дополнительные потери	9.99	3.77	9.99	3.77	дБ
$L_{макс}$	Максимальные потери	216.53	208.11	229.59	217.03	дБ
G	Коэффициент усиления антенны	49.25	50.45	49.25	50.45	дБ
$F_{ш}$	Общий шум-фактор приемника		1.81		1.81	дБ
T_{a0}	Шумовая температура при ясном небе		69.02		231.51	К
T_a	Эквивалентная шумовая температура антенны		137.65		298.68	К
T_{Σ}	Суммарная шумовая температура приемного тракта		287.65		448.68	К
N	Максимальная мощность теплового шума	-126.7	-128.91		-126.98	дБ
N_0	Спектральная плотность мощности шума	-201.8	-204.01		-202.8	дБ
OBO	Потери выходной мощности на одной несущей	-0.97		-0.97		дБ
P	Эффективная мощность на ЗС	83.16	-104.67	83.16	-113.58	дБ · Вт
ψ	Плотность потока мощности насыщения	-78.93	-112.82	-78.93	-112.82	дБ · Вт/м²
E	Напряженность электромагнитного поля E	66.86	-120.98	66.86	-129.9	дБ · Вт
C	Мощность полезного сигнала	-106.38	-104.67	-119.44	-113.58	дБ
(G/T)	Добротность		29.57		27.63	дБ/К
$B_{шум}$	Возрастание шумов		1.93		1.93	дБ
DND	Снижение эффективности ЛСС		9.61		9.61	дБ

Продолжение табл. Г.2

Сокр.	Параметр ЛСС	ЛСС вверх «ясно»	ЛСС вниз «ясно»	ЛСС вверх «поглощение вследствие дождя»	ЛСС вниз «поглощение вследствие дождя»	Единица измерени я
(C/N)	Отношение несущей к шуму	22.22	24.24	9.16	13.39	дБ · Вт
(C/N_0)	Отношение несущей к шуму относительно спектральной плотности мощности	97.32	99.35	84.26	88.5	дБ · Гц
R_c	Скорость символ	24	24	24	24	Мбод/с
Δf	Занятая ширина полосы	32	32	32	32	МГц
(E_b/N_0)	Отношение энергии бита к спектральной мощности шума	20	22.02	6.84	11.17	дБ
(C/T)	Отношение несущей к суммарной температуре	-131.28	-129.25	-144.34	-140.1	дБ · Гц
$(C/I)_{don}$	Допустимый критерий	34.42	36.44	21.36	25.59	дБ
$(C/I_0)_{don}$	Допустимый критерий	109.52	111.55	96.46	100.07	дБ
(C/I)	Отношение мощности полезного сигнала к мощности помехи	11.28	5.85			дБ
$(C/N+I)$	Отношение несущей к шуму под влиянием интенсивности мощности помехи	84.59	122.25	71.53	111.4	дБ
$(C/N_0 + I_0)$	Допустимое отношение несущей к шуму относительно спектральной плотности к мощности помехи	159.7	197.35	146.64	186.5	дБ
$(E_b/N_0 + I_0)$	Отношение энергии бита и спектральной плотности к мощности помехи	82.38	120.03	69.32	109.18	дБ
$(C/N)_\Sigma$	Суммарное отношение несущей к шуму сигнала с тепловым шумом при мощности теплового шума	20.1		7.77		дБ
$(C/N_0)_\Sigma$	Суммарное отношение несущей к шуму сигнала с тепловым шумом при спектральной плотности мощности шума	95.21		82.87		дБ · Гц
$(E_b/N_0)_\Sigma$	Суммарное отношение энергии бита к спектральной плотности	17.88		5.55		дБ

Продолжение табл. Г.2

$M_{мп}$	Суммарный энергетический запас на помехи всей линии	-109.43	-98.58	дБ
$M_{\Sigma, CN}$	Суммарный энергетический запас относительно мощности несущий к тепловому шуму	12.33		дБ
$M_{\Sigma, CN0}$	Суммарный энергетический запас относительно мощности несущей к спектральной плотности	24.33		дБ
$(C/N+I)_{\Sigma}$	Суммарное допустимое отношение несущей к шуму под влиянием интенсивности мощности помех	84.59	71.53	дБ
$(C/N_0+I_0)_{\Sigma}$	Суммарное допустимое отношение сигнал-шум относительно спектральной плотности к мощности помехи	159.7	146.64	дБ
$(E_b/N_0+I_0)_{\Sigma}$	Суммарное отношение энергии бита и спектральной плотности к мощности помехи	82.38	69.32	дБ
$(C/I)_{\Sigma}$	Суммарное допустимое отношение к мощности помехи	1.1	1.92	дБ
$T_{\text{Солнце}}$	Солнечная температура на ЗС	9940		К
$T'_{\text{Солнце}}$	Солнечная шумовая температура на ЗС	9854		К
$\Delta T_{\text{пр.цзс}}$	Увеличение солнечной шумовой температуры	21295		К
ΔT_n	Увеличение солнечной шумовой температуры при использовании поляризатора	4927		К
AD	Количество дней влияния Солнца на ЗС	2		день
AM	Максимальное время влияния Солнца на ЗС	3		мин
TD	Общая продолжительность времени влияния Солнца на ЗС	6		мин
$\Delta(C/N)$	Ухудшение отношения несущей к шуму из-за солнечной температуры	18.75	16.85	дБ
M	Энергетический запас линии связи	3.77	12.69	дБ
G	Спектральная эффективность	1.67	1.67	бит с ⁻¹ .Гц
P	Вероятность битовой ошибки	3×10^{-11}	2.28×10^{-6}	